

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1939

THÈSE

421
N°

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

HA-MINH-Phong

Né le 9 Mars 1910, à Cholon (Cochinchine française)

**Contribution à l'Étude
de la pollution des cours d'eau et du sous-sol
par les produits d'industrie**

Président : M. TANON, Professeur.

PARIS

LES PRESSES MODERNES

96, Galerie Beaujolais - Palais Royal

1939

**Contribution à l'étude
de la pollution des cours d'eau et du sous-sol
par les produits d'industrie**

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1939

THÈSE

N°

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

HA-MINH-Phong

Né le 9 Mars 1910, à Cholon (Cochinchine française)

**Contribution à l'Étude
de la pollution des cours d'eau et du sous-sol
par les produits d'industrie**

Président : M. TANON, Professeur.

PARIS

LES PRESSES MODERNES

96, Galerie Beaujolais - Palais Royal

1939

LE DOYEN : M. TIFFENEAU.

I. — PROFESSEURS

	MM.
Anatomie.	ROUVIÈRE.
Physiologie	Léon BINET.
Physique médicale.	STROHL.
Chimie médicale.	POLONOVSKI.
Bactériologie	Robert DEBRÉ.
Parasitologie et histoire naturelle médicale	BRUMPT.
Pathologie et thérapeutique générales	BAUDOUIN.
Pathologie médicale	ABRAMI.
Pathologie chirurgicale	MONDOR.
Anatomie pathologique	LEROUX.
Histologie.	CHAMPY.
Pharmacologie et matière médicale	TIFFENEAU.
Thérapeutique	HARVIER.
Hygiène et médecine préventive.	TANON.
Médecine légale	BALTHAZARD.
Histoire de la médecine et de la chirurgie	LAIGNEL-LAVASTINE.
Pathologie expérimentale et comparée.	FIESSINGER.
Hydrologie thérapeutique et climatologie	CHIRAY.
Clinique médicale.	LOEPER
	CARNOT.
	CLERC.
	Marcel LABBÉ.
Hygiène et clinique de la première enfance	LEREBOULLET.
Clinique des maladies des enfants.	NOBÉCOURT.
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale.	H. CLAUDE.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	GOUGEROT.
Clinique des maladies du système nerveux.	GUILLAIN.
Clinique des maladies infectieuses.	LEMIERRE.
	CUNÉO.
Clinique chirurgicale.	GOSSET.
	GRÉGOIRE.
	LENORMANT.
Clinique ophtalmologique	TERRIEN.
Clinique urologique	CHEVASSU.
	COUVELAIRE.
Clinique d'accouchements.	JEANNIN.
	LÉVY-SOLAL.
Clinique gynécologique	MOCQUOT.
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie.	OMBRÉDANNE.
Clinique thérapeutique médicale	RATHERY.
Clinique oto-rhino-laryngologique	LEMAITRE.
Clinique thérapeutique chirurgicale.	Pierre DUVAL.
Clinique propédeutique	Maurice VILLARET
Clinique de la tuberculose	TROISIER.
Clinique chirurgicale orthopédique de l'adulte.	MATHIEU.
Clinique cardiologie.	LAUBRY.
Clinique de neuro-chirurgie	Clovis VINCENT.
Assistance Médico-sociale.	N...
	HAZARD.
	HOVELACQUE.
Professeurs sans chaire	MULON.
	OLIVIER.
	SANNIÉ.
	VERNE.



II. — AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM.

AMELINE . . . Pathologie chirurgicale.
 BARIÉTY . . . Pathologie médicale.
 BÉNAUD Henri. . Pathologie médicale.
 BERNARD Etienne Pathologie médicale.
 BESANÇON (Justin) . Hydrologie.
 BOULIN . . . Pathologie médicale.
 BULLIARD. . . Histologie.
 CATHALA . . . Pathologie médicale.
 CHEVALLIER . Pathologie médicale.
 COSTE. . . . Pathologie médicale.
 DOGNON. . . . Physique.
 FEY. Urologie.
 FUNCK Pathologie chirurgicale.
 GALLIARD . . . Parasitologie.
 GASTINEL . . . Bactériologie.
 DE GAUDART D'ALLAINES. . Pathologie chirurgicale.
 GAYET Physiologie.
 DE GENNES . . Pathologie médicale.
 GIROUD Histologie.
 HAGUENAU . . Pathologie médicale.
 HALPHEN . . . Oto-rhino-laryngologie.
 HUGUENIN . . . Anatomie pathologique.
 JOANNON . . . Hygiène.
 LACOMME. . . . Obstétrique.

MM.

LANTUÉJOUL . . Obstétrique.
 LAROCHE (Guy) Pathologie médicale.
 LAVIER Parasitologie.
 LELONG. . . . Pathologie médicale.
 LEMAIRE . . . Pathologie expérimentale.
 LEVEUF. . . . Pathologie chirurgicale.
 M^{lle} J. LÉVY . . Pharmacologie.
 LÉVY-VALENSI. Neurologie et Psychiatrie
 MÉNÉGAUX . . Pathologie chirurgicale.
 MOLLARET . . Pathologie médicale.
 MOREAU. . . . Pathologie médicale.
 MOULONGUET. Pathologie chirurgicale.
 MOUQUIN . . . Pathologie médicale.
 PETIT-DUTAILLIS. . Pathologie chirurgicale.
 PIÉDELIEVRE . . Médecine légale.
 PORTES Obstétrique.
 RENARD. . . . Ophtalmologie.
 RICHET Physiologie.
 SÈNÈQUE . . . Pathologie chirurgicale.
 TURPIN Pathologie médicale.
 VIGNES Obstétrique.
 WILMOTH . . . Pathologie chirurgicale.

III. — AGRÉGÉS RAPPELÉS A L'EXERCICE

pour le service des examens

MM.

ALGLAVE . . . Pathologie chirurgicale.
 BUSQUET . . . Pharmacologie.
 CHAILLEY-BERT. . Physiologie.
 GUÉNIOT . . . Obstétrique.
 HEITZ-BOYER . Pathologie chirurgicale.

MM.

LARDENNOIS . . Pathologie chirurgicale.
 LE LORIER. . . . Obstétrique.
 NEVEU-LEMAIRE. . Parasitologie.
 SCHWARTZ . . . Pathologie chirurgicale.
 VAUDESCAL . . . Obstétrique.

IV. — AGRÉGÉS CHARGÉS DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE A TITRE PERMANENT

MM.		MM.	
ALAJOUANINE . . .	Clinique médicale.	BASSET	Clinique chirurgicale.
AUBERTIN		BROCQ.	
BRULÉ.		CADENAT.	
CHABROL		GATELLIER	
DONZELOT		MOURE.	
DUVOIR.		QUENU.	
LIAN.		VELTER	
PASTEUR-VALLÉRY-RADOT.			
SÉZARY			

MM.	
ECALLE	Clinique obstétricale.
METZGER	

V. — CHARGÉS DE COURS

MM.	CHAILLEY-BERT, agrégé. .	Éducation physique.
	LEDOUX-LEBARD	Radiologie clinique.
	RUPPE	Stomatologie.
	WEIL-HALLÉ	Puériculture.

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A NOS MAITRES DE LA FACULTÉ ET DES HOPITAUX

A MES PROFESSEURS
DE L'INSTITUT DE MÉDECINE COLONIALE DE PARIS

En témoignage de gratitude.

AU DOCTEUR MARCEL BERGERON

*Qui voulut bien nous prodiguer ses conseils.
Qu'il trouve ici l'expression de nos remerciements.*

A MES AMIS

ET TOUT SPÉCIALEMENT

DOCTEUR MARCEL CHAIGNEAU, DOCTEUR HENRY DESJEUX

JACQUES ET PIERRE BOURCET, GILBERT BIGGS

A MON MAITRE ET PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE PROFESSEUR L. TANON

Professeur d'Hygiène à la Faculté de Médecine de Paris

Membre de l'Académie de Médecine

Conseiller technique sanitaire au Ministère de la Santé publique

Inspecteur général des Services techniques d'Hygiène

à la Préfecture de Police

Officier de la Légion d'honneur

Hommage de respectueuse et profonde gratitude.

A MON JURY DE THÈSE

A MON MAITRE LE DOCTEUR R. NEVEU

Chef du Laboratoire des Epidémies

Auditeur au Conseil supérieur d'Hygiène

Chevalier de la Légion d'honneur

*A qui je dois le sujet de cette thèse.
Hommage de vive admiration et de
sincère reconnaissance.*

INTRODUCTION

Nous avons eu l'occasion d'observer un certain nombre de cas de pollution des cours d'eau et du sous-sol qui ont été l'objet d'autant d'enquêtes effectuées par le service du Laboratoire des Epidémies de la Préfecture de Police que dirige notre maître, le Docteur R. Neveu.

L'étude de la pollution des rivières nous a intéressé, parce que, d'une part, les cas de déversements clandestins s'avèrent fréquents ; et que d'autre part, dans certaines régions, l'accroissement continu des populations urbaines, le développement de l'industrie, l'utilisation de plus en plus grande d'eau de rivière pour l'alimentation en eau potable des villes, vu la limitation du nombre des nappes souterraines, posent, devant les autorités responsables de l'hygiène publique et devant les industriels, le redoutable problème de la pollution du sous-sol et des cours d'eau.

Les atteintes à la pureté des eaux résultant de déversements des industries sont au premier chef du domaine de l'Hygiène, parce qu'intéressant la Santé publique, au même titre qu'elles intéressent l'économie rurale, l'hygiène du bétail, l'agriculture et la protection du poisson.

Le but de l'hygiéniste est de déceler, autant que faire se peut, la contamination des nappes aquifères et des

cours d'eau et de guider les agglomérations vers l'état désirable en tenant compte des réalités des faits et des moyens possibles et pratiques.

L'industriel a, de plus, la préoccupation de résoudre le problème le plus économiquement possible.

Et pour régler tout désaccord éventuel entre des intérêts, quelquefois divergents, existent des réglementations complexes de déversements.

Les eaux résiduaires industrielles projetées dans les cours d'eau peuvent constituer des causes d'infections graves, les unes par les matières organiques animales ou végétales qu'elles apportent, d'autres par les substances toxiques ou nuisibles qu'elles renferment. A chaque déversement malsain, nous essayerons de présenter les remèdes qui lui sont applicables actuellement.

Ainsi, à n'envisager la pollution des eaux, comme il convient dans ce travail, que sous l'angle seul de l'Hygiène, il y a matière à réflexions d'un indéniable intérêt et toute d'actualité, en raison du taux de pollution atteint par nombre de cours d'eau, et en raison du projet de loi, soumis au Parlement, pour assurer la protection des eaux.

Ce travail nous a été inspiré par notre maître M. le Docteur R. Neveu, qui nous a constamment guidé dans nos recherches. Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de notre profonde gratitude.

Nous sommes heureux de remercier aussi, bien vivement, MM. Vignerot, ingénieur en chef du Génie rural, Bourgoïn, du ministère de la Santé Publique, de Brancion, de l'Office international d'Hygiène publique, Vielledent, de l'Inspection de la Santé et de l'Hygiène Pu-

bliques du Département du Nord, et tous nos amis du Laboratoire d'Hygiène de la Faculté de Médecine et du Laboratoire des Epidémies de la Préfecture de Police qui nous ont communiqué de précieux renseignements et donné connaissance des travaux les plus récents sur le sujet.

LÉGISLATION

A l'heure actuelle, il semble qu'en France, où le réseau de navigation a un développement de 8.000 km. et où les autres cours d'eau s'étendent sur 270.000 km., nous n'ayons pas encore une législation spéciale sur la pollution des eaux.

Dans la pratique, on fait application, pour les déversements industriels, de plusieurs lois, décrets et règlements de police sur les cours d'eau non navigables, ni flottables.

En recherchant dans la littérature, nous avons trouvé que dans un Arrêt du Conseil en date du 24 janvier 1777, il y était déjà question à l'article 4 : « Défend, Sa Majesté, sous les mêmes peines, à tous les riverains et autres de jeter dans les lits des rivières et canaux, ni sur leurs bords, aucune immondice, pierres, graviers, pailles, fumiers, ni rien qui puisse embarrasser ni altérer le lit, ni d'en affaiblir ou changer le cours, par aucune tranchée ou autrement, ainsi que d'y planter aucun pieux, mettre à rouir des chanvres, comme d'y tirer aucune pierre, terre, sable, et autres matériaux plus près du bord que six toises (11 m. 69) ».

Plus tard, la Loi du 15 avril 1829, à retenir, indique dans son article 25, que « quiconque aura jeté dans les eaux des drogues ou appâts de nature à enivrer le pois-

son ou à le détruire sera puni d'une amende de 30 à 100 francs et d'un emprisonnement d'un mois à trois mois ». Bien que l'exposé des motifs et la discussion de cette loi montrent qu'elle ne peut viser que le braconnage en rivière, la jurisprudence des tribunaux l'applique, depuis la Loi du 18 novembre 1898, aux déversements industriels.

Enfin nous trouvons 3 Décrets successifs : ceux des 25 février 1868 et 10 août 1875, modifiés par celui du 5 septembre 1897 (articles 19 et 21), qui autorisent les préfets à déterminer les mesures à observer pour l'évacuation dans les rivières des matières et résidus susceptibles de nuire au poisson et provenant des fabriques et établissements industriels quelconques.

Il en résulte que d'un département à l'autre, les mesures prises par les préfets peuvent varier, voici un modèle d'Arrêté préfectoral valable pour une année dans le département :

DÉVERSEMENT DES RÉSIDUS INDUSTRIELS
DANS LES COURS D'EAU

Réglementation pour l'année 19..

Le Préfet...

Vu l'article 25 de la loi du 15 avril 1829, modifié par la loi du 18 novembre 1898 ;

Vu les articles 1^{er} et 2 de la loi du 15 février 1902 ;

Vu les articles 19 et 21 du décret du 5 septembre 1897 ;

Vu le procès-verbal de la conférence tenue entre M. le Conservateur des Eaux et Forêts et MM. les Ingénieurs

en chef des Ponts et Chaussées chargés d'un service de pêche ;

Vu l'avis du Conseil départemental d'Hygiène en date du...

ARRÊTE :

ARTICLE PREMIER. — Il est interdit d'évacuer dans les canaux et cours d'eau navigables ou non navigables du département, des matières susceptibles de nuire au poisson et provenant, soit directement, soit indirectement, des fabriques et autres établissements industriels quelconques.

Il ne pourra être déversé dans ces canaux et cours d'eau que des eaux qui ne contiennent aucune substance toxique et qui soient neutralisées, refroidies, clarifiées, rendues limpides, inodores et non susceptibles de fermentation ultérieure.

Les eaux de réfrigération et de condensation et toutes les autres eaux nuisibles seulement par leur température, ne pourront être déversées dans les cours d'eau qu'après avoir été refroidies au moins jusqu'à 30 degrés.

ART. 2. — Est notamment interdit, comme particulièrement nocif, le déversement dans les cours d'eau, sans épuration préalable, des eaux résiduaires acides contenant de l'acide sulfurique, de l'acide chlorhydrique, de l'acide acétique, de l'acide oxalique, de l'acide chromique, des carbonates de soude et de potasse, des sulfites de chaux et des sulfites d'ammoniaque (dans un autre département, le Nord, par exemple, ce seraient des eaux de lavage des betteraves, des eaux d'égouttage des cossettes, des eaux de lavage des ateliers et celles ayant servi une seule fois aux transporteurs hydrauliques.

ART. 3. — Est également interdit, le rejet dans les

cours d'eau et canaux des déchets de coton et de laine, des pâtes à papier, de la sciure de bois, des produits provenant du sciage des pierres et marbre, des résidus de chlore, de sulfure de chaux, des vinasses des distilleries, des égouttures de pulpes, des eaux de diffusion des sucreries, des eaux provenant du pressage des cossettes, des eaux provenant du lavage des laines en suint et des eaux ayant servi plusieurs fois pour l'usage des transporteurs hydrauliques, du sang, des résidus de laitier, et en général de toutes matières ou déjections d'origine animale.

ART. 4. — L'emploi des puisards ou puits absorbants, pour l'évacuation des produits résiduels, ne sera permis qu'en vertu d'une autorisation donnée individuellement à chaque usinier.

.....

Nous avons vu que la Loi du 18 novembre 1898 applique aux déversements clandestins les mêmes sanctions que pour le braconnage en rivière prévu par l'article 25 de la Loi du 15 avril 1829.

Nous trouvons encore :

Loi du 5 avril 1884, sur l'organisation municipale ;
Loi du 21 juin 1898, sur la police rurale.

L'application de ces lois appartient aux maires, qui, sauf des cas exceptionnels, ont une répugnance manifeste à sévir. Auraient-ils d'ailleurs la volonté de réprimer les déversements nuisibles, que leurs arrêtés n'auraient, comme le règlement de police, d'autre sanction que l'article 471, paragraphe 15, du Code Pénal, c'est-à-dire une amende insignifiante de 1 à 5 francs.

Citons les Règlements de police sur les cours d'eau non navigables, ni flottables, en application de la Loi du 8 août 1898 sur le Régime des eaux.

Il est fait aussi application de la Loi du 15 février 1902 sur la santé publique dans ses articles 1^{er} et 2. Mais cette loi ne dispose pour la protection des eaux souterraines que d'arrêtés municipaux sanctionnés par l'application de l'article 471 du Code Pénal précité.

Plus tard, un Décret du 1^{er} juin 1905 invite les préfets à prendre un arrêté concernant la police des cours d'eau non navigables, ni flottables, en remplacement des précédents qui avaient été abrogés pour ces cours d'eau.

Il est suivi d'une Circulaire en date du 1^{er} juin 1906, N° 451, et d'un modèle d'arrêté dans lequel l'article 12 indique qu'« il est interdit de jeter, de déverser ou laisser écouler, soit directement, soit indirectement dans le lit des cours d'eau des matières, des résidus, des liquides :

1° S'ils sont susceptibles d'occasionner des envaselements ou gêner l'écoulement des eaux ;

2° S'ils sont infects, nuisibles ou susceptibles de compromettre la salubrité publique ;

3° S'ils sont susceptibles par leur température ou leur nature de rendre les eaux impropres à l'alimentation des hommes ou des animaux, à leur emploi aux usages domestiques, à leur utilisation pour l'agriculture ou l'industrie ou à la conservation du poisson ».

Par la suite, une Circulaire du 20 août 1906 (N° 453) sur la pollution des nappes souterraines, fixe les règles d'enquêtes et d'autorisation de rejet des eaux résiduaires dans les cours d'eau non navigables, ni flottables.

De plus, les rejets d'eaux résiduaires urbaines doivent être déclarés d'utilité publique.

Pour les déversements industriels, il faut une autorisation spéciale donnée après enquête du Service hydraulique et indépendante de l'autorisation concernant la réglementation sur les établissements insalubres ou incommodes.

Cette circulaire, très importante au point de vue de la salubrité, a pour but, dans l'état actuel de la législation, de sauvegarder autant que possible la santé publique en protégeant les nappes souterraines et en évitant la pollution des rivières.

Toute la réglementation précédente a besoin d'être complétée par des mesures générales de protection. Ainsi les usines sont soumises aux lois sur les établissements insalubres afin d'éviter qu'elles ne causent de nuisances graves aux abords ou au centre des agglomérations où elles sont installées. La Loi du 19 décembre 1917 a des dispositions s'appliquant aux déversements industriels dans ses articles 7, 9, 10, 18 et 19.

La violation de ces dispositions comporte les sanctions ordinaires de la loi, à savoir : amende de 16 à 500 francs, délai fixé pour supprimer la cause de la répression ; à l'expiration de ce délai, possibilité, suivant la nature de l'établissement, de suspendre l'autorisation ou d'ordonner la fermeture des usines. Ces dernières sanctions, qui atteignent les ouvriers, réduits au chômage, et l'industrie elle-même, nuisent à l'intérêt général et ne sont qu'exceptionnellement prononcées.

Revenons à la protection des rivières contre la pollution.

Une législation est en préparation depuis 1907.

Par décret en date du 22 mars 1907, le Ministre de l'Agriculture institua près la Direction de l'Hydraulique et des Améliorations agricoles (actuellement Direction du Génie Rural et des Eaux non Domaniales) une commission de parlementaires, fonctionnaires, jurisconsultes, hygiénistes, bactériologistes, chimistes, géologues, industriels, agriculteurs, pêcheurs, en vue de donner un avis éclairé sur les moyens d'obvier à l'insuffisance des moyens de répression, de prévenir les opérations nuisibles et, avant tout, de mettre un terme à la contamination sans cesse croissante des eaux, sans imposer à l'industrie des charges inacceptables, cette condition étant indispensable pour aboutir à une œuvre viable. Un projet de loi établi sur les bases du travail de la Commission fut déposé en 1910 à la Chambre des Députés ; la législature prit fin avant sa discussion.

Il fut repris et arrêté après de longues conférences entre les Ministères de l'Agriculture, des Travaux Publics, de l'Hygiène et du Commerce, et avis du Conseil Supérieur d'Hygiène publique de France, et déposé à nouveau le 13 novembre 1923. La législature prit encore fin avant sa discussion.

Il ne fut pas présenté depuis au Parlement.

Mais, frappés du fait que les peines en question paraissaient ou trop bénignes ou beaucoup trop rigoureuses, MM. les Sénateurs Henry Chéron, Fernand David, Gallet et Machet déposèrent le 31 mai 1927 au Sénat une proposition de loi reprenant les dispositions essentielles du projet de loi de 1923 relative aux mesures à prendre contre la pollution des eaux (Proposition N° 286, Sénat, année 1927, Session ordinaire, publiée dans le *Journal*

Officiel du 27 mars 1928). Dans l'exposé des motifs, les auteurs de la proposition s'expriment ainsi : « Le résultat à atteindre, c'est que les industriels, que les communes, avant de se débarrasser de leurs eaux usées dans les cours d'eau ou dans les profondeurs du sol, les épurent suffisamment pour éviter leur nocivité. Pour réaliser ce but, il convient de renforcer et de faciliter le contrôle des dispositifs de purification, sans que l'intervention de l'administration puisse avoir pour effet de substituer sa responsabilité à celle des intéressés, sans qu'elle devienne pour eux une entrave. D'autre part, il n'est pas moins essentiel que les dépenses nécessitées par l'épuration ne nuisent pas au développement de l'industrie, qu'elles n'entraînent pas pour les communes des charges hors de proportion avec leurs ressources. Il importe donc de réduire au minimum les sujétions imposées et d'accorder des tolérances compatibles avec l'intérêt général. Il faut encore chercher par tous les moyens possibles à rendre plus facile, moins onéreuse, l'exécution des travaux destinés à l'évacuation et à l'épuration des eaux usées ».

C'est en s'inspirant de ces principes qu'a été préparée la proposition de loi.

Les conditions que les eaux déversées dans les rivières devront remplir au point de vue organoleptique, physique, chimique et bactériologique seront déterminées par des règlements d'administration publique concertés entre les Ministres de l'Agriculture, des Travaux Publics, de l'Hygiène, de l'Intérieur, du Commerce et de l'Industrie.

En vue de faciliter et de rendre plus efficace le contrôle de l'Administration, il est prévu que les industries dont les évacuations sont les plus nuisibles ne pour-

ront déverser leurs résidus dans les cours d'eau qu'après leur avoir fait subir une épuration dont le degré et le mode devront être reconnus acceptables par le préfet, compte tenu des conditions d'évacuation. C'est le régime de l'autorisation préalable.

La liste de ces industries sera établie par décrets interministériels.

Pour les déversements des autres industries, les mesures de répression suffiront.

Pour atténuer les charges ainsi imposées à l'industrie, de nombreuses tolérances, de multiples facilités ont été accordées. Ce sont essentiellement :

— réductions considérables des sujétions imposées sur les sections de cours d'eau dont l'affectation à l'industrie présente une influence prépondérante sur les autres utilisations ;

— expropriation possible par les communes des terrains indispensables à l'épuration pour le compte des propriétaires des établissements industriels situés sur leurs territoires ;

— faculté pour les industriels de constituer des associations syndicales libres pour l'exécution à frais communs d'égouts et de travaux d'épuration ; transformation, s'il y a lieu, par arrêté préfectoral de ces associations syndicales libres en associations autorisées, ce qui leur donnera le droit d'exproprier les terrains nécessaires à l'épuration.

Les Ministres de l'Agriculture et des Travaux Publics chargés de l'application de la loi, ainsi que les préfets, ne pourront exercer les pouvoirs qui leur sont conférés en la matière qu'après avis des commissions chargées de

les éclairer et prévues par la proposition de loi. Ces commissions sont :

— pour les préfets : la Commission départementale de conservation des eaux, constituée par le Conseil départemental d'hygiène, complété par diverses personnalités qui n'en font pas partie et dont les avis s'imposent, et par des représentants des diverses catégories d'usagers des eaux ;

— pour les ministres : la Commission Supérieure de Conservation des eaux, organe entièrement nouveau.

Ces Commissions auront à s'éclairer de l'avis de laboratoires qualifiés pour l'étude des procédés d'épuration ; ces laboratoires, qui pour un assez grand nombre existent déjà, devront être agréés par arrêtés interministériels.

Dans les Commissions de Conservation des eaux, les représentants de l'industrie constituent le tiers des membres.

Le délai d'application de la nouvelle loi a été fixé à 3 ans. De plus, les sanctions prévues ne seront mises à exécution qu'après une période de 5 ans.

En ce qui concerne les particuliers et les sociétés, les pénalités ne comportent que des amendes. Les amendes prévues sont appliquées par les tribunaux correctionnels et sont de 50 à 100 francs, portés en cas de récidive de 100 à 2.000 francs. En outre, le jugement frappant le délinquant devra impartir au maître de l'entreprise (particulier ou société), civilement responsable, un délai pour prendre les mesures convenables en vue de faire cesser la nocivité du déversement et le condamner, au cas où les dispositions n'auraient pas été prises à l'époque fixée, à une amende formant astreinte qui se renou-

vellera chaque jour aussi longtemps que les dispositions n'auront pas été mises en fonctionnement. Le montant de l'astreinte pénale est fixé entre 5 et 300 francs par jour de retard.

Il est à remarquer que la constatation des délits est facilitée par le fait que la proposition de loi considère comme délictueux et frappe des pénalités prévues les déversements dans les cours d'eau, les évacuations dans le sol opérées contrairement aux prescriptions imposées, sans qu'il y ait lieu de rechercher quelles en ont été les conséquences.

La loi autorise par ailleurs les associations syndicales, les associations de riverains, les syndicats et sociétés de pêcheurs et d'ostréiculteurs, à se porter partie civile pour obtenir réparation des dommages subis.

Cette proposition de loi a été examinée par la Commission d'Agriculture du Sénat, et le rapport établi par M. le Sénateur Marcel Donon a été déposé le 29 mars 1929 (Rapport N° 262, Sénat, année 1929, session ordinaire, publié dans le *Journal Officiel* du 17 novembre 1929). Elle a été aussi examinée par la Commission d'Hygiène du Sénat, et l'avis de cette Commission, établi par M. le Sénateur L. Perrier a été déposé le 27 novembre 1930 (Sénat, 582 *bis*, publié dans le *J. O.* du 3 mai 1922). Enfin, elle a été l'objet d'un Avis de la Commission du Commerce, établi par M. le Sénateur Japy, déposé le 29 novembre 1929 (Sénat, 646) publié dans le *J. O.* du 5 mars 1930.

A la suite de l'intervention des représentants de l'industrie française, la proposition de loi a subi quelques modifications. Certaines précisions sont apportées, l'avis du ministre du Commerce sera demandé avec celui des

ministres de l'Agriculture et des Travaux publics. Ces légères modifications sont de nature à calmer les inquiétudes des industriels qui se sont signalées depuis le dépôt de la proposition de loi, et dont on trouve la manifestation notamment dans la discussion du Rapport de M. Diénert au Congrès de la Ligue de l'aménagement et de l'utilisation des eaux tenu à Paris en juin 1929. Les industriels auraient préféré qu'au lieu d'une loi nouvelle on fit usage de la Loi du 19 décembre 1917 concernant les établissements classés, en ajoutant à la liste de ces établissements ceux dont l'industrie peut altérer les eaux et qui n'y sont pas déjà portés.

Mais il a été reconnu la nécessité d'une loi nouvelle consacrée uniquement aux mesures assurant la conservation des eaux.

D'autre part, les sanctions prévues par la Loi du 19 décembre 1917 sont ou insuffisantes ou trop rarement appliquées par les tribunaux.

Le Sénat a discuté et adopté cette proposition de loi dans ses séances des 8 et 10 novembre 1932.

Dans la suite, nous avons trouvé : Chambre, N° 897, Proposition de loi adoptée par le Sénat déposée le 24 novembre 1932, non publiée au *J. O.* Mais cette proposition de loi n'est transmise à la Chambre que le 2 juin 1936, sous le N° 58, et elle n'est pas encore venue en discussion devant cette assemblée, qui d'ailleurs a été saisie directement d'un projet similaire par MM. Dura-four, P. Robert, Antérion et Rognon.

Tout en prenant dès son application les mesures propres à améliorer la protection des eaux, la proposition de loi prévoit un perfectionnement continu de cette protection en liaison avec les progrès de la science et de ses applications rationnelles par l'industrie.

Les dispositions de la proposition de loi s'adaptent à chaque cas d'espèce, et tout en protégeant la salubrité publique et l'utilisation des ressources hydrauliques contre la pollution des eaux, elles sont assez larges et assez tolérantes pour ne pas nuire, bien au contraire, aux intérêts industriels.

Les sanctions, dont l'application est entourée de toutes les garanties, ne sont pas à redouter par les intéressés de bonne volonté et conscients de leurs véritables intérêts.

Il serait très désirable que cette loi fut votée.

DE QUELQUES CAS DE POLLUTION

OBSERVATION I (inédite)

Recueillie dans le service du Docteur Neveu.
Laboratoire des Epidémies.

A. N... une raffinerie de pétrole ayant son pipe-line crevé en plusieurs endroits, tous les puits du voisinage devinrent inutilisables. Après de nombreuses enquêtes et de procès, la compagnie responsable dut amener l'eau de la canalisation de la ville chez tous les riverains lésés.

Voici le relevé des enquêtes qui ont été faites par le service :

N° 220, 5 oct. 1927.

N, avenue de la République, chez M..., petit pavillon.

Toute cette région est contaminée par une nappe de pétrole qui provient des canalisations de la raffinerie de pétrole. Les riverains s'en sont aperçus depuis le 5 août. Les puits sont contaminés, l'eau flambe. Les caves sont imprégnées de pétrole. Il y a là un très grave danger. Les riverains vont chercher l'eau à une borne très éloignée.

N° 225, 11 oct. 1927.

N, même adresse, chez M^{me}..., laveuse de bidons à la raffinerie de pétrole. Soignée à la Charité pour typhoïde. Prend ses repas chez elle.

Puits contaminé par pétrole depuis 5 août. L'eau contient du pétrole.

N° 2.262, 1929.

N, rue du 11-Novembre, chez M..., petit pavillon bien tenu en bordure de la ligne de Rouen, puits à margelle. Ce puits est périodiquement contaminé par du pétrole. Il y a en

effet à côté une canalisation qui envoie le pétrole aux usines... à...

Il y a deux ans, nous avons constaté que toute la nappe souterraine était contaminée non loin de là par des infiltrations abondantes de pétrole.

Il y a évidemment là des mesures à prendre. M... a fait des frais pour installer ce puits. Il n'y a pas l'eau dans la rue et il doit aller très loin chercher l'eau de canalisation. Coli : 150 Bactéries : liquéfaction.

N° 2.351.

N, rue du 11-Novembre, chez M..., petit pavillon. Puits à margelle. Pétrole. Coli : 200 Bactéries : liquéfaction.

N°..., 24 juin 1932.

N, rue du 11-Novembre, près le pont des fondrières.

Puits à margelle. De temps à autre : pétrole.

Il y a un regard du pipe-line à 30 mètres environ : il fuit. Coli : 1.000 Bactéries : liquéfaction.

N°..., 7 août 1935.

N, rue du Bois-Baudouin.

Puits dans cour mal tenue. Le locataire se plaint de la présence de pétrole. Coli : 2.000 Bactéries : liquéfaction 5° jour.

N°..., même jour, même adresse.

Il y a de l'eau de la ville qui a été amenée par l'usine.

Puits à margelle. Coli : 2.000 Bactéries : liquéfaction.

OBSERVATION II (inédite)

Recueillie dans le service du Docteur Neveu.

Laboratoire des Epidémies.

A C... près Paris, les puits de tout un quartier étaient pollués. L'enquête montra qu'un établissement de développements photographiques versait tous ses bains et tous ses produits usagés dans un puisard qui contaminait les puits environnants.

N°..., 1^{er} juin 1936. Enquête... rue du Plateau.

Les puits sont contaminés depuis deux mois environ.

Les riverains accusent avoir eu des troubles intestinaux, et pensent que leur eau qui est jaune après avoir été verdâtre est contaminée par l'usine de films cinématographiques.

Nous avons vu le directeur. Les produits photographiques sont jetés dans des puisards qui certainement contaminent le sous-sol. Il nous a déclaré que depuis plus d'un an que l'usine fonctionne, il n'a rien changé à sa technique et qu'il est étonnant qu'on se plaigne maintenant. Il a, paraît-il, porté des prélèvements à analyser au laboratoire municipal.

Voici le résultat des analyses d'eau des puits de la rue du Plateau :

N° 12, M..., 14 enfants. Puits à margelle.

Eau verte, puis jaunâtre. Coli : 90. Bactéries : 900.

N° 13 : Puits à margelle.

Les locataires accusent avoir eu des coliques.

Coli : 90. Bactéries : 1.200.

N°s 14, 15, 16, 20, 22 : sont absents.

OBSERVATION III

(Communiquée par M. Neveu)

Aux environs de Paris, une usine de produits chimiques ayant jeté dans une rivière des bonbonnes de gaiacol, l'eau de la canalisation devient imbuvable pendant un certain temps, ce qui attira de très nombreuses plaintes justifiées.

OBSERVATION IV

(Communiquée par M. Neveu)

En Normandie, une cidrerie, ayant jeté à la rivière tous les déchets de sa brasserie, les poissons périrent.

Et le Syndicat des pêcheurs de la région ayant intenté un procès, l'industriel fut condamné à payer une forte indemnité et obligé à ne plus jeter ses sous-produits dans la rivière.

OBSERVATION V

En Auvergne, une station climatique qui déversait clandestinement des eaux usées non traitées dans la rivière a été mise en demeure de se conformer à la loi.

OBSERVATION VI

Un cas de pollution d'une nappe aquifère par des déversements de produits chimiques, par le Dr Grenouilleau (in *Annales d'hygiène publique, industrielle et sociale*, N° 6, juin 1934).

Les habitants d'une commune se plaignaient depuis peu de temps de la qualité de l'eau de leurs puits. Cette eau était limpide, transparente, incolore et sans odeur lorsqu'on la puisait, mais elle devenait dure et l'emploi du savon provoquait la formation d'une mousse bleuâtre. Le changement de teinte de l'eau par dissolution du savon était l'élément essentiel qui attirait l'attention et provoquait l'inquiétude.

L'enquête a permis de faire les constatations suivantes : à 4 ou 500 mètres de l'agglomération fonctionne une usine d'injection pour la conservation des bois, en l'occurrence des poteaux télégraphiques. Deux procédés sont employés :

1° Le procédé Desmont traite les poteaux par la créosote et le sulfate de cuivre. Les bois sont placés dans un vaste autoclave où le vide est effectué. De la créosote et une solution de SO^4Cu à 0 gr. 50 % y sont introduits. Les poteaux sont retirés après imprégnation par ces substances ;

2° Le procédé Boucherie n'emploie que le SO^4Cu en solution à 1 %. Les poteaux sont rangés sur un plan incliné. La grosse extrémité surélevée est munie d'un collier branché par un tuyau en caoutchouc sur une canalisation métallique qui reçoit la solution cuprique d'un réservoir surélevé. La pression permet à la solution de cheminer dans les canaux ligneux des poteaux et, au bout de quelques jours, celle-ci s'écoule par l'autre extrémité. L'opération est alors terminée. Plusieurs centaines de poteaux sont ainsi traités à la fois. Des pertes de solution cuprique peuvent se produire au niveau des colliers, mais un caniveau récupère ce qui s'écoule. Par contre, en fin d'opération, le SO^4Cu qui sort

de l'extrémité distale tombe sur le sol où il est absorbé. Il est apparu à l'auteur que ce devait être la cause de la pollution du sous-sol. En effet, l'apparition de la teinte bleue de l'eau par savonnage devait être due à la combinaison du SO^+Cu avec le carbonate de soude du savon (combinaison comparable à celle de la bouillie bourguignonne employée pour le traitement de l'oïdium de la vigne). L'auteur a fait un prélèvement de l'eau de 3 puits : celui de l'établissement d'injection de poteaux et deux des puits contaminés situés à 4 ou 500 mètres de là. La recherche du cuivre a été pratiquée par la méthode électrolytique : Après avoir évaporé 500 gr. de l'eau à analyser acidulée avec HCl et l'avoir concentrée au dixième de son volume, le cuivre est précipité par un courant d' H_2S à l'état de sulfure. On filtre, puis le précipité est solubilisé par l'acide nitrique et la solution chauffée pour chasser toutes traces d' H_2S et la concentrer. On ajoute ensuite quelques gouttes d' SO^+H_2 et on électrolyse en capsule de platine. Le métal se dépose sur la cathode qui est lavée, séchée et pesée. L'augmentation de poids est due au dépôt de Cu pur. Ce procédé est très précis, le dépôt de Cu étant très adhérent et l'on n'est pas gêné par les autres métaux. Les résultats ont été les suivants, par litre :

I. Puits de l'établissement : 2 mgr. 5 de Cu , soit 10 mgr. de sulfate.

II. Puits suspects :

1^{er} puits : 6 mgr. de Cu , soit 24 mgr. de sulfate.

2^e puits : 9 mgr. de Cu , soit 36 mgr. de sulfate.

La souillure de la nappe aquifère par SO^+Cu provenant de l'établissement d'injection de poteaux était donc manifeste.

Cette pollution de puits à distance a permis à l'auteur de constater que la nappe aquifère était superficielle. En effet, le sol est composé d'une couche de quelques mètres à peine de sable, reposant sur des argiles grises horizontales compactes. Le SO^+Cu répandu ne pouvant se combiner, dans un sol calcaire, il y aurait eu formation de carbonate de Cu insoluble, était entraîné dans le sens du courant de la nappe phréatique, c'est-à-dire vers le village. Le fait que le SO^+Cu a été trouvé en plus faible quantité dans le puits du chantier que dans les puits plus éloignés provient, de l'avis

de l'auteur, de ce que ceux-ci avaient une profondeur suffisante pour atteindre la couche imperméable et la nappe aquifère, le premier, de 3 m. à peine, étant surtout alimenté par des eaux de pluie. Les usagers des puits souillés n'ont pas présenté d'accidents toxiques. Et pourtant, par une méthode adaptée de celle de Schenbein, extrêmement sensible, il a été possible de déceler des traces de SO_4Cu dans les urines. En effet, depuis les recherches de Galippe, il semble bien que l'intoxication par les sels de Cu soit pratiquement inexistante, surtout à des doses faibles, quelques centigrammes, même répétées, et qu'avec des doses plus élevées, ils aient surtout une action émétisante.

OBSERVATION VII

Nous terminerons par le cas de l'Espierres, petit ruisseau dont la longueur ne dépasse pas 22 km., mais qui servait d'exutoire pour les eaux usées urbaines ainsi que pour les eaux résiduaires des nombreuses et puissantes usines lainières de Roubaix et Tourcoing. Le mal que fait l'Espierres en Belgique, depuis plus d'un demi-siècle, est principalement causé par les eaux résiduaires industrielles sus-visées, car pendant la guerre de 1914-1918, alors que les usines lainières étaient arrêtées, les eaux du Haut-Escaut étaient redevenues poissonneuses. La pollution est telle qu'en été et surtout en période de sécheresse, le liquide charrié le long des rives de ce fleuve ressemble à un bouillon gras, dont sortent de grosses bulles de gaz, venant crever à la surface du liquide, en dégageant une mauvaise odeur caractéristique, dont l'acuité augmente à mesure que de débit de l'Escaut faiblit.

L'Espierres ne contient pas moins de 5 kg. de matières fixes par mètre cube, et il déverse dans l'Escaut 50.000 m³ d'eau par jour ! (Sœnen).

Voici succinctement l'historique du conflit franco-belge de l'Espierres :

La première plainte officielle émanait de M. le Gouverneur du Hainaut. Elle fut adressée à M. le Préfet du Département du Nord, le 24 avril 1854.

Proposée déjà en 1861 par le Gouvernement belge, une première commission franco-belge ne fut instituée qu'en

1866. Ses travaux furent interrompus par la guerre de 1870-71.

En 1873, cette commission reprit ses travaux, pour les terminer, à Lille, le 27 avril 1875. D'après ses conclusions, il incombait aux villes de Roubaix et Tourcoing d'établir un champ d'épuration. Comme il n'en advint rien, le Gouvernement belge communique, le 4 septembre 1878, au Gouvernement français, la menace d'un barrage à établir à travers la vallée de l'Espierres, à son entrée en Belgique. Cette menace fut renouvelée le 14 mars 1879 et le 8 avril 1881.

Un décret du Président de la République française, du 22 février 1887, déclara d'utilité publique l'épuration des eaux de l'Espierres dans une usine à installer à Grimonpont. Les résultats furent mauvais : le traitement à la chaux des eaux polluées de l'Espierres donnait lieu à une énorme quantité de boues dont il était fort difficile de se débarrasser.

Le 6 novembre 1889 une commission de spécialistes belges fut nommée. Les conclusions de cette commission portaient que les eaux épurées de l'Espierres peuvent être admises dans l'Escaut sous certaines conditions.

En 1895, la législation belge vota un crédit pour barrer la vallée de l'Espierres.

Le 3 juin 1896, une seconde commission franco-belge fut nommée. Elle écarta la solution du collecteur vers la Mer du Nord. Elle décida de développer les installations de Grimonpont, mais l'usine de Grimonpont dut fermer le 30 janvier 1902.

Pendant la guerre de 1914-18, en raison de l'arrêt des usines lainières de Roubaix et Tourcoing, les eaux étaient redevenues claires et poissonneuses.

Mais à la suite de l'été particulièrement sec de 1922, l'eau de l'Escaut reprenait son aspect bouillon gras et son odeur si bien qu'on a dû constituer une 3^e commission franco-belge qui recommande l'épuration suffisante des eaux résiduaires industrielles dans les usines. A la suite des travaux de cette commission, M. le Préfet du Nord a pris un arrêté, et les Maires de Roubaix, Tourcoing, Mouvaux, Watrelos et Croix ont pris les mesures nécessaires pour pallier, semble-t-il, aux inconvénients de l'évacuation des eaux résiduaires industrielles.

Mais les résultats n'ont pas été satisfaisants. Un seul

point reste acquis : c'est qu'il existe des moyens satisfaisants pour épurer les eaux résiduaires industrielles dans les usines.

Sur de nouvelles plaintes du Gouvernement belge, M. l'Inspecteur de la Santé et de l'Hygiène Publiques du département du Nord, M. Vielledent, a été chargé d'établir de nombreux rapports sur cette question durant ces dernières années. Ces rapports constituent actuellement encore autant de documents diplomatiques du Ministère de l'Agriculture et ne peuvent être consultés.

Nous voyons donc, par ces nombreuses observations, qu'il existe de nombreux et incontestables cas de pollution des cours d'eau et du sous-sol par des produits d'industrie.

EFFETS DE LA POLLUTION PAR LES PRODUITS INDUSTRIELS

Examinons maintenant les effets éventuels que pourrait déterminer une eau polluée sur l'homme, sur les animaux, sur les poissons et sur la végétation spontanée ou cultivée.

Les facteurs perturbateurs peuvent être d'ordre physique ou chimique.

Les facteurs physiques sont :

La température. Le rejet d'eaux chaudes élève la température moyenne de l'eau du cours d'eau. Cette élévation, tant qu'elle reste modérée, n'a pas d'inconvénient appréciable aux utilisations ménagères, agricoles ou industrielles. Mais l'eau ne pourrait pas servir d'eau de boisson des hommes et des grands animaux. Enfin elle modifie fâcheusement le développement de la faune (plancton) et de la flore vivant dans cette eau.

Disons cependant que si la température du cours d'eau après rejet est supérieure à l'ambiante, elle est rapidement ramenée à cette valeur par l'action de l'air agissant sur une large surface.

Le premier effet de l'élévation thermique est d'abaisser la teneur de l'eau en oxygène dissous, et peut la rendre impropre à la vie des poissons qui sont, en général, très

sensibles à toute élévation notable de température (truites et saumons surtout). Elle agit ensuite sur les conditions de vie de la faune et de la flore des eaux, lesquelles interviennent pour la nourriture des poissons et l'auto-épuration du cours d'eau. Enfin cette élévation thermique déclanche ou favorise le développement de certaines bactéries ou de certaines fermentations qui peuvent intervenir alors de façon très préjudiciable pour les qualités de l'eau.

Il semble que pour éviter cette perturbation thermique, on se trouverait bien de régler le déversement au cours d'eau de manière à ne pas élever au point de déversement la température moyenne de celui-ci de plus de 2 à 3°C. dans le cas des rivières à poissons sensibles (truites, saumons), et de plus de 3 à 5°C. dans les autres cas.

La limpidité. Une eau rendue plus ou moins opaque peut devenir plus ou moins impropre à la vie des animaux et des plantes. En effet, l'action de la lumière a une grosse influence sur la vie des êtres et des plantes, poissons ou organismes servant à la nourriture de ceux-ci. Elle en a également sur le développement de micro-organismes nuisibles ; donc sur le phénomène d'auto-épuration du cours d'eau qu'il est essentiel de maintenir.

La coloration de l'eau, outre qu'elle peut nuire aux utilisations ménagères ou industrielles ultérieures, sans parler du trouble propre que peut introduire la nature même du produit colorant, peut s'opposer au passage de certaines radiations solaires, et d'agir de ce fait sur les phénomènes vitaux des animaux, des plantes et des micro-organismes ; donc de troubler éventuellement l'existence normale des poissons ; d'autre part, de modi-

fier la composition de l'eau et de nuire à son auto-épuration.

Il est assez difficile d'indiquer une valeur limite à l'opacité ou à la coloration admissibles. Cette valeur dépend, en effet, dans une certaine mesure de la profondeur du cours d'eau, et aussi un peu de circonstances locales relatives à l'éclairement. L'effet nuisible se produit d'ailleurs alors qu'aucune opacité ou coloration du cours d'eau pollué n'est appréciable à la vue. Aussi est-il prudent de n'admettre au cours d'eau qu'une eau résiduaire qui sous faible épaisseur : 2 cm. 5, en lumière du jour, ne présente ni opacité ni coloration appréciables. Contre l'opacité, on peut réaliser l'épuration par une simple filtration, précédée éventuellement de décantation.

Les facteurs densité et viscosité (ce dernier très important au point de vue des êtres et organismes vivants) sont presque toujours conditionnés par la présence de matières en suspension ou en dissolution, dont il sera question plus loin.

Les facteurs chimiques sont :

Le pH, qui pour un liquide neutre est 7,07. En dessous, il est acide ; en dessus, il est alcalin. Or les animaux et les organismes vivants sont extrêmement sensibles à une variation, même très faible, du pH. Pour les poissons en particulier, une variation du pH de l'ordre de 5 p. 100 pour les espèces sensibles (truites, saumons), de 10 p. 100 pour les autres, en dessus et surtout en dessous (les poissons sont très sensibles aux eaux acides) de sa valeur optima (variant légèrement avec les espèces et dépendant aussi quelque peu des conditions physiques

de l'eau, et en particulier de sa température) a pour effet non pas de tuer le poisson, mais de provoquer son émigration. Une variation du pH agit de même sur les micro-organismes, et par conséquent sur le phénomène d'auto-épuration du cours d'eau.

Enfin, les réactions chimiques dont le cours d'eau peut devenir le siège, du fait de la réception d'un, ou surtout plusieurs effluents pollués, sont régies par la valeur du pH.

Pour autant que les mesures, encore en cours, nous ont éclairés sur le sujet, on peut dire qu'un cours d'eau ne doit jamais, donc ne doit pas, après réception d'eaux résiduaires, présenter un pH en dehors des valeurs de 6,2 (eau acide) à 8,5 (eau alcaline).

Ces valeurs limites fixent donc, en fonction des débits relatifs du cours d'eau et de l'effluent d'eau résiduaire, la valeur du pH admissible pour cet effluent. Si le pH est en dehors des valeurs limites, l'eau résiduaire doit être ramenée à posséder un pH acceptable par un processus qui sera généralement celui d'épuration chimique.

Un second facteur d'ordre chimique, très important, est la teneur de l'eau en oxygène indispensable à la vie des animaux et des plantes vivant dans le cours d'eau. Cela nous amène à parler des matières en suspension ou en dissolution dans le cours d'eau (Rapport de M. L. Roule, dans Etude sur les eaux résiduaires de sucrerie, fasc. 1).

Le déversement dans une rivière d'eaux résiduaires de compositions différentes, et en particulier contenant des impuretés de diverses natures, a pour résultat de modifier l'état normal de la rivière, et de causer une pollution. Cette pollution est double. Les eaux résiduaires contiennent à la fois des matières en suspension et des

matières en dissolution. Ces deux catégories agissent ensemble dans la pollution.

Les matières en suspension consistent en fines particules qui se délaient dans l'eau de la rivière, et que le courant entraîne, mais leur degré de finesse leur permet de rester suspendues assez longtemps avant qu'elles ne se déposent, et l'eau normale de la rivière, troublée par leur apport, se trouve modifiée sur une longue distance en aval du point de déversement.

Les matières en dissolution s'incorporent à l'eau de la rivière, s'y diluent, mais, en raison de leur abondance, et malgré la dilution progressive à partir du lieu de déversement, leur présence modifie l'eau normale sur une certaine longueur.

Ces deux sortes de pollution exercent une action sur les poissons vivant dans les eaux ainsi modifiées ; en outre, elles agissent aussi sur la faune et la flore aquatiques dont les poissons ont besoin pour se nourrir.

Les poissons des rivières ainsi affectées appartiennent à un assez grand nombre d'espèces, mais au sujet du mode de vie et des exigences biologiques, tous sont soumis à une nécessité identique : celle trouver dans l'eau qu'ils habitent les proies de leur alimentation, et l'oxygène de leur respiration.

Cet oxygène se trouve dans l'eau à l'état de dissolution, et la rivière l'emprunte à l'air atmosphérique en contact avec sa surface. La proportion d'oxygène dissous diffère selon les cours d'eau, selon les situations géographiques et selon les saisons, mais elle ne peut guère tomber au-dessous d'un taux minimum de 3 à 4 cc. par litre d'eau sans nuire à la respiration des poissons, qui serait gênée à des taux plus bas, le milieu devenant alors asphyxique. D'autre part, elle ne peut guère monter au-

dessus de 7 à 8 cc. par litre d'eau, car elle approche alors de la limite de solubilité de l'O. dans l'eau. Il faut donc que la rivière contienne, avec continuité, la proportion nécessaire de cet oxygène indispensable, car, à son défaut, les poissons périssent, n'ayant plus la capacité de respirer. On prend rarement garde, dans les études de pollution, à ce phénomène biologique, qui ne peut être décelé que par des analyses d'O. dissous faites directement sur place, mais qui n'en a pas moins une influence prédominante. Cette importance augmente vis-à-vis de certaines usines qui déversent leurs eaux résiduaires dans des rivières à truites. Or, parmi les espèces de nos cours d'eau, la truite est celle qui a les exigences respiratoires les plus élevées, car il lui faut normalement pour respirer, la proportion de 6 à 7 cc. d'O. dissous par litre d'eau.

On admet, pour qu'un cours d'eau puisse servir d'habitat à la faune et à la flore, et où le jeu de l'auto-épuration puisse se faire, qu'il conserve toujours une teneur minima en O. dissous de 50 % et même 70 %, de celle correspondant à la saturation, laquelle varie, en particulier, avec la température. Ceci suffit à montrer le caractère très sévère de cette exigence vis-à-vis des rejets d'eaux polluées susceptibles d'absorber de l'O. dissous, et les très fortes dilutions que l'on se trouve amené à respecter en pratiquant de pareils rejets.

Les proies dont se nourrissent les poissons ont deux origines : les unes proviennent des berges, d'où elles sont entraînées dans l'eau ; les autres vivent dans l'eau elle-même, qui constitue leur habitat normal. Les premières, malgré leur abondance momentanée en certains cas, n'ont qu'un rôle de complément. Les dernières constituent la nourriture fondamentale, souvent la seule exis-

tante ; ce sont des êtres planctoniques de diverses tailles, ou des êtres établis sur le fond et se déplaçant parmi les objets immergés. La végétation aquatique procure à ceux-ci le gîte habituel, où ils trouvent à la fois l'abri et l'aliment. L'entretien des poissons dépend ainsi de la faune et de la flore des cours d'eau qu'ils habitent ; il ne se maintient qu'à la condition de les rencontrer intactes, et il décline si elles perdent leurs qualités.

Les matières en suspension des eaux résiduares consistent fréquemment en vases et en fines particules organiques, la vase constituant la masse prédominante. Ces matériaux terreux, suspendus dans l'eau avant de se déposer, n'exercent pas sur les poissons une action directe trop nocive. Le poisson les avale dans l'acte respiratoire ; mais leur finesse, leur forme, leur nature inerte, font qu'ils ne s'attachent pas aux branchies et qu'ils n'empêchent pas l'osmose gazeuse de s'accomplir.

Par contre, il n'en est plus de même pour la faune alimentaire, et surtout pour la végétation aquatique où cette faune trouve les moyens de subsister. Les matières en suspension, qui se déposent progressivement sur le fond et contre les berges, recouvrent les végétaux immergés d'une couche de vase qui les ensevelit à divers degrés. Même partiellement couvertes, ces plantes aquatiques sont atteintes dans leur vitalité, notamment dans leur nutrition chlorophyllienne. Elles commencent par jaunir, puis périssent et disparaissent. En conséquence, la faune alimentaire, ayant perdu ses abris, diminue en quantité et disparaît à son tour. Ces phénomènes sont souvent hâtés et amplifiés par la putréfaction des particules organiques ayant fait partie des matières en suspension. Ces dépôts vaseux sont fréquemment putrides et dégagent de l'hydrogène sulfuré. Il en résulte que les

poissons sont lésés de façon directe, par suite d'une dés-oxygénation de l'eau et le sont aussi indirectement, car ils se trouvent atteints dans leur nourriture. Aussi la plupart d'entre eux ne pourraient-ils se maintenir ainsi et disparaîtraient-ils, par ce fait seul, des régions polluées, si une autre action plus intense, celle des matières en dissolution et en suspension colloïdale, ne jouait un rôle éliminatoire encore plus complet.

Ces matières en dissolution et en suspension colloïdale sont composées des substances organiques diverses, ternaires et azotées, extraites au cours de la fabrication, et qui, non conservées dans le produit fabriqué, sont rejetées avec les eaux résiduaires, à l'état de dissolution cristalloïdienne ou à l'état colloïdal. Les eaux résiduaires en renferment une proportion considérable, s'élevant souvent à plusieurs grammes par litre. Elles constituent, de ce fait, de véritables bouillons concentrés de culture, qui sont déversés dans le cours d'eau. Au sujet des poissons et de la vie aquatique, leur déversement constitue de beaucoup le principal danger.

Malgré la dilution des eaux résiduaires dans l'eau normale de la rivière, l'introduction de ces substances organiques a pour résultat d'inverser la nature de la végétation aquatique, en favorisant la pullulation des végétaux inférieurs « saprophytes », qui consomment de l'oxygène et dégagent des produits oxycarbonés. Le milieu aquatique subit de ce fait, quant à sa qualité vivificatrice, une notable diminution. Les bactéries deviennent plus nombreuses. A côté d'elles, les champignons filamenteux (*Leptomitius lacteus*) qui, dans une rivière normale, existent à peine, prennent une extension considérable, et forment des flocons volumineux que la rivière entraîne en les accrochant aux berges et aux objets im-

mergés. La masse de ces flocons ainsi déposés contribue à augmenter les dommages déjà causés par la précipitation des matières en suspension. Mais l'inconvénient principal, causé par l'excès de cette végétation non chlorophyllienne, n'est pas celui de cet appoint de masse ; il réside dans le comportement biologique et respiratoire. Cette végétation devenue abondante, car la rivière constitue désormais à son avantage un excellent milieu nutritif, absorbe pour sa respiration une proportion élevée de l'O. dissous dans l'eau, et la remplace par du CO² dégagé comme résultat de cette respiration. Ce faisant, en diminuant ainsi la teneur en O. dissous, elle modifie l'état de la rivière et restreint sa capacité à entretenir la vie de la faune alimentaire et des poissons. En fait, ces derniers, ainsi concurrencés par la végétation non chlorophyllienne, se trouvent privés d'une partie de l'O. nécessaire à leur propre respiration.

Il est possible de suivre les phases d'une telle modification en effectuant sur place des analyses directes de l'O. dissous, et en les sériant au long de la rivière en aval du lieu de déversement. Tandis que l'eau d'amont conserve sa teneur élevée en O. dissous, celle d'aval en perd progressivement. La perte commence au-dessous du lieu de déversement et progresse ensuite jusqu'à une limite après laquelle, grâce à la dilution de plus en plus grande, du fait du courant et du contact de plus en plus prolongé avec l'air atmosphérique, la rivière puise dans ce dernier un complément d'O. qu'elle dissout et s'incorpore peu à peu pour revenir à l'état normal.

Empressons nous de dire qu'une pareille pollution n'a généralement pas pour résultat de tuer le poisson : elle le chasse ; car celui-ci sentant se modifier les conditions nécessaires à son existence, émigre vers des régions plus

favorables pour lui. Il n'est détruit que s'il se trouve dans l'impossibilité de fuir : barrage, etc... Mais ses pontes peuvent être détruites ; il se produit donc de toutes façons un dépeuplement plus ou moins momentané du cours d'eau.

Examinons maintenant le facteur *toxicité* de certains produits d'origine minérale ou organique. La façon dont les poissons, la flore et la faune supportent ces divers produits, en suspension ou en solution dans leur eau-habitat, est extrêmement variable.

Parmi les plus courants, signalons, comme produits minéraux : les halogènes (Cl, Br, I), les sulfures, l'arsenic, le plomb ; comme produits organiques : les goudrons et les phénols, les pétroles et huiles minérales qui, en partie, interviennent aussi en formant à la surface de l'eau une couche empêchant le contact de l'air, donc la respiration des organismes aquatiques et aussi l'auto-épuration ; de nombreuses matières colorantes et tanantes ; les alcaloïdes ; de nombreux produits pharmaceutiques, etc... La plupart des produits qui sont toxiques pour l'homme et les grands animaux le sont également, et souvent à dose moindre, pour les êtres aquatiques ; leur présence dans ces eaux est donc indésirable. La limite toxique varie assez largement avec les conditions physiques, chimiques et biologiques existant dans l'eau considérée. On pourra, à défaut d'information précise, se baser sur la toxicité vis-à-vis de l'homme et des grands animaux en adoptant même une marge de sécurité assez large.

Quant à la *putrescibilité*, elle est extrêmement nocive aux êtres vivants, en particulier parce que s'accompagnant le plus souvent de l'absorption, à leurs dépens, de

l'O. dissous dans l'eau. Elle se manifeste généralement par suite de la présence de matières organiques. Cette tendance à la putréfaction doit être rigoureusement nulle. On s'en assure par un essai prolongé à chaud, à l'étuve, de l'eau, soit de l'eau du cours d'eau après réception de l'eau résiduaire, soit mieux même de celle-ci, si possible.

Rappelons que certaines eaux contiennent effectivement des matières organiques putrescibles mais ne permettent pas momentanément à cette putréfaction de se produire, généralement par suite d'une trop forte concentration de l'effluent soit en cette matière soit en certains produits qui l'accompagnent, soit encore que le milieu soit trop acide ou trop alcalin. La putréfaction se déclanche alors automatiquement dès qu'intervient la dilution de l'effluent, et se produit alors dans le cours (ou la nappe) d'eau qui l'a reçu.

Voyons maintenant la question des eaux potables. Il se peut que l'on compte sur le cours (ou la nappe) d'eau pour obtenir l'eau de boisson aux hommes et aux grands animaux. Les exigences en matière de non-pollution, d'épuration avant rejet, et de respect des conditions d'auto-épuration, s'en trouvent évidemment renforcées. L'homme et les grands animaux sont en effet très difficiles vis-à-vis de leur eau de boisson, qu'ils souhaitent « agréable » ; et par conséquent au sujet de sa température, de sa saveur et son odeur éventuelles. D'autre part, la limite de sensibilité à des produits toxiques est d'autant plus basse que l'animal occupe un rang plus élevé dans l'échelle des êtres vivants. En outre, les eaux de boisson doivent être très pauvres en micro-organismes, et rigoureusement exemptes de certains d'entre eux, et

en particulier de microbes pathogènes. Enfin, il faut penser à la conséquence grave et peut-être désastreuse d'une intoxication éventuelle. On connaît des cas, rares il est vrai, d'intoxication déterminés par des eaux souillées de résidus industriels : acide arsénieux, versé par des usines employant l'ancien procédé de préparation de la fuchsine ; sels de plomb entraînés à quelques kilomètres des mines plombifères ; hydrogène arsénié ou éthylarsine dégagés des lagunes du Haff sur les bords de la Baltique par fermentation de boues arsenifères formées par des détritits de papeteries riveraines.

C'est le cas, par exemple, de traces de phénols, provenant d'usines à gaz ou de fabriques chimiques, qui avec le chlore donnent naissance à un composé donnant à l'eau, à des teneurs infimes, une odeur et surtout un goût d'iodoforme très rebutant.

Dans d'autres cas, l'action même du cours d'eau peut suffire. Par exemple, certains auteurs prétendent que les eaux épurées de laiterie qui contiendraient encore des traces de caséine pourraient, au contact du calcaire des eaux ou du lit du cours d'eau former de la méthylamine qui, même à des teneurs très faibles, dégage une odeur de marée ou de poisson, et a un goût désagréable et en détournent hommes et animaux, alors que dans ce cas encore il n'y a pas de toxicité.

On voit, par ces exemples, combien la question de l'épuration préalable à l'admission à un cours d'eau servant à l'alimentation est plus délicate. C'est pourquoi certaines eaux résiduaires, en particulier celles des fabriques de produits chimiques, doivent en principe ne pas être évacuées aux cours d'eau, sauf vérification formelle que la chose est sans inconvénients.

D'autre part, puisque l'on devra toujours compter,

dans une certaine mesure, sur les phénomènes d'auto-épuration dans le cours (ou la nappe) d'eau, il faudra veiller encore plus soigneusement à ce qu'ils se réalisent effectivement ; que par suite, les rejets d'eaux résiduaires polluées ne se superposent pas, c'est-à-dire ne se succèdent que lorsque l'eau est déjà, par auto-épuration, revenue à sa pureté normale ; et enfin ne faire les prélèvements au cours d'eau pour alimentation humaine ou animale qu'en des points déterminés, à savoir ceux où, l'auto-épuration ayant joué, l'eau a repris sa pureté normale, et ne peut-être polluée par un rejet opéré en aval (ou au voisinage, pour les nappes fixes).

Naturellement, des précautions du même genre doivent être prises vis-à-vis de la pollution éventuelle des nappes d'eau souterraines par les eaux ou résidus envoyés au terrain par épandage ou en dépôt. En effet, notre observation VI concernant l'usine d'injection des poteaux télégraphiques par le sulfate de cuivre et contaminant des puits à plusieurs centaines de mètres à l'aval nous amène à envisager la pollution du sous-sol.

Lorsqu'une eau résiduaire ne peut être envoyée directement au cours d'eau, on peut s'en débarrasser, comme nous venons de le dire, par épandage ou par absorption avec ou sans puits. La diffusion de l'eau résiduaire crée une zone de pollution. L'importance de cette zone et la gravité de cette pollution dépendent de la toxicité du ou des produits polluants, de la nature du terrain et des réactions qui se produisent avec les résidus évacués, de la nature ou de la concentration des produits polluants ou toxiques, et des possibilités du phénomène d'auto-épuration du terrain. La surface de la zone polluée peut parfois être considérable, sa longueur pouvant atteindre 15 à 20 kms. La profondeur se compte toujours

par plusieurs dizaines de mètres ; elle peut être considérable s'il existe des fissures ou failles. Il est donc très facile, et très fréquent, que les eaux polluées, envoyées au terrain ou provenant de résidus envoyés au terrain, et n'ayant encore subi à travers celui-ci qu'une épuration nulle ou partielle, viennent au contact de nappes souterraines, fixes ou circulantes, nappes qui alimentent en particulier les puits et quelquefois les sources. Bien qu'un certain degré d'auto-épuration puisse encore se produire dans ces nappes, il est très possible que les puits ou sources qu'elles alimentent se trouvent contaminés et être impropres à la boisson et même propagateurs de maladies. Les rivières provenant de ces sources peuvent devenir impropres à la vie des poissons, qui émigrent ou meurent. Aussi est-il recommandé avant l'envoi d'eaux résiduaires à l'épandage ou au puits absorbant, ou de résidus au terrain, au teruil ou à la fosse, de faire étudier soigneusement, par un spécialiste, la situation géologique ou hydrologique locale, au besoin dans une étendue assez large. La prévision en temps utile de nuisances ou dommages éventuels, et les mesures prises pour les éviter, coûteront beaucoup moins cher que la réparation de ces dommages une fois produits.

L'importance des effets de la pollution sur la faune et la flore aquatiques a permis à certains auteurs (Heim de Balsac. Bull. Acad. Méd. 30 avril 1935) de décrire des tests biologiques de pollution dont la valeur ne le cède en rien à celle des tests chimiques.

Caractériseront les eaux pures, à pouvoir auto-épurateur normal : l'exubérance des végétaux supérieurs immergés (Phanérogames hydrophytes) ; un riche plancton, notamment de Cladocères et Copépodes là où le

courant est ralenti ; la présence de la Crevette d'eau douce (Gammare), de poissons à fortes exigences respiratoires tels le Gardon (à l'exclusion des Salmonides, qui ne s'accroissent que d'eau d'extrême pureté).

En eaux moyennement polluées, nous verrons se raréfier les Phanérogames immergés, l'Aselle remplacer la Crevette, les Tubifex se multiplier sur le fond plus vaseux ; Carpes et Tanches supportent encore ces souillures.

En eaux à fortes souillures organiques apparaîtront Saprologéniques, Cyanophycées, en même temps que disparaîtront les Phanérogames ; les Limicoles, tels les vers de vase (Chironome) pulluleront ; les poissons auront fui, à l'exception de la seule anguille.

Et l'auteur de conseiller la représentation graphique des variations de pollution chimique en fonction des causes de pollution, en chaque point, et qu'aux courbes de pollution chimique, on superpose des tracés hydrobiologiques de présence ou d'absence des types caractéristiques des faune et flore, révélatrices de pollution. Certaines industries n'ayant qu'une activité saisonnière (sucrierie, par ex.), la carte de souillure doit être établie pour les cours d'eau recevant leurs effluents aux deux périodes de l'année, correspondant à leur activité d'une part, à leur arrêt de l'autre. La souillure étant inversement proportionnelle au débit du cours d'eau, elle doit être chiffrée, comparativement, en période de crue et en période de basses eaux. Plusieurs cartes de souillure saisonnière, pour le même cours d'eau, permettent de lire, d'un coup d'œil, les variations saisonnières de la souillure et de conclure à la capacité maxima de réception d'un cours d'eau, quant au déversement tolérable

d'un effluent industriel de composition constante et déterminée.

On a relevé des cas certains d'infections, imputables à des déversements industriels : infection charbonneuse par eaux effluentes d'ateliers de traitement de soies de porc, de tanneries.

L'odorisation d'eaux de rivière, destinées à être épurées pour l'alimentation des villes, odorisation imputable à des déversements chimiques, intéresse hautement l'hygiène des eaux potables. Les cas s'en sont multipliés au cours des dernières années : composés phénoliques, résidus des usines à gaz.

Mais ces causes de nuisance s'effacent devant la généralité de la nuisance la plus répandue : l'atteinte portée, par les déversements industriels, au pouvoir naturel d'épuration du cours d'eau.

On devra donc, pour les eaux potables, renforcer s'il se peut la surveillance de leur épuration, et ne pas hésiter à renforcer aussi la sévérité des conditions techniques des eaux épurées, en matière de concentrations en sels minéraux même non toxiques par eux-mêmes, par exemple, et de neutralisation des eaux évacuées, enfin en instituant et en prévoyant un traitement microbicide, de préférence par le chlore : 2 gr. par m³, un contrôle biologique précis.

Il faudra aussi penser que même lorsque les eaux de rivière sont estimées potables, on recourt souvent, par mesure de perfectionnement ou de sécurité, à un traitement plus ou moins énergique par le chlore, eau de javel, par exemple. Or ce traitement peut, dans une eau ne contenant que des traces insignifiantes et peut-être passées précédemment inaperçues, de certains produits, provoquer la formation de produits qui, à dose infime,

sont cependant extrêmement désagréables aux hommes et aux animaux et leur font refuser une eau qui ne présente pas cependant une teneur toxique.

Enfin pour clore ce chapitre, nous tenons à rappeler l'« essai au poisson » imaginé, il y a plus d'un demi-siècle, par un constructeur d'appareils d'épuration, M. Chevalet. Il consiste à conserver en aquarium des poissons, de préférence d'espèces de sensibilités diverses, et à les placer pour l'essai dans un bac d'eau pure, dont on mesure les caractéristiques. Après quoi, on introduit dans ce bac des proportions croissantes de l'eau résiduaire. On observe l'attitude du poisson après des temps variables, laquelle permet de déterminer la dilution correspondant à la toxicité pour le poisson de l'eau résiduaire considérée. Cet essai, outre son caractère de réalisme, secondait beaucoup les essais chimiques usuels pour l'étude des teneurs toxiques et des dilutions minima à observer. On préconise actuellement l'essai au poisson dans la rivière même, c'est-à-dire dans les conditions naturelles.

MESURE DE L'INTENSITÉ DE LA POLLUTION

La pollution introduite dans un cours d'eau ou une nappe d'eau superficielle ou souterraine par un apport d'eau résiduaire, ayant pour résultat de créer un trouble momentané ou permanent, il est nécessaire de pouvoir évaluer, et même chiffrer, l'importance de ce trouble, et de voir en particulier s'il existe des limites en deçà desquelles une variation des propriétés du cours d'eau ou de la nappe reste admissible.

A titre d'indication d'ordre de grandeur, voici le résumé des conditions que la Commission Royale Anglaise avait adoptées. Comme limite de sécurité, elle avait proposé d'interdire le rejet de tout effluent contenant :

En suspension : plus de 1/100.000 (en poids) de matière organique, ou plus de 3/100.000 (en poids) de matière minérale ;

En solution : plus de 2/100.000 (en poids) de C organique, ou plus de 0,3/100.000 (en poids) d'N organique ;

En solution : plus de 2/100.000 (en poids) d'un métal quelconque (sauf les alcalins K et Na et les alcalino-terreux Ca et Mg pour lesquels des teneurs plus fortes sont permises) ;

En solution ou suspension, sous une forme quelconque (combinaison chimique ou autrement) :

plus de 0,05/100.000 (en poids) d'As ;

plus de 1/100.000 (en poids) de Cl libre (après acidification par SO^4H^2) ;

plus de 1/100.000 (en poids) de S (en H^2S ou sulfures) ;

Une acidité plus grande que celle fournie par solution de 2 parties (en volume) de HCl pur dans 1.000 parties d'eau distillée (soit un pH de 1,5) ;

Une alcalinité plus grande que celle fournie par solution de 1 partie (en poids) de NaOH sec dans 1.000 parties d'eau distillée (soit un pH de 9,6) ;

(Nous faisons remarquer que la marge entre les deux valeurs du pH est véritablement trop grande.)

Flottant à sa surface, ou en suspension : une teneur supérieure à 0,05/100.000 (en volume) de pétrole ou huile minérale quelconque ;

Enfin ayant à la lumière du jour une coloration appréciable sous une épaisseur de 25 mm.

On y ajoute ultérieurement les conditions :

que, contenant encore ses matières en suspension, elle n'absorbe pas, à 18°3, en 5 jours, plus de 2/100.000 d'oxygène dissous ;

qu'après filtration, sur papier, elle n'absorbe pas plus de 1,5/100.000 d'oxygène ;

qu'elle soit absolument imputrescible à l'étuve.

En fait, seule l'exigence du maximum de 3/100.000 de matières en suspension a toujours été maintenue. Pour les autres conditions, on s'est rendu compte qu'on ne pouvait se préoccuper seulement de l'eau rejetée, mais plutôt du degré de trouble que son rejet provoquait dans le cours d'eau, et de la valeur limite admissible de ce trouble.

En France, vu l'impossibilité d'exiger l'épuration ab-

solue des eaux résiduaires industrielles, le Conseil Supérieur d'Hygiène publique de France, dans sa séance du 12 juillet 1909, estime qu'on doit provisoirement admettre que l'épuration est suffisante :

1° Lorsque l'eau épurée ne contient pas plus de 0 gr. 03 de matières en suspension par litre.

2° Lorsque, après filtration sur papier, la quantité d'oxygène que l'eau emprunte au permanganate de potasse en 3 minutes reste sensiblement constante avant et après 7 jours d'incubation à la température de 30° C. en flacon bouché à l'émeri.

3° Lorsque, avant et après 7 jours d'incubation à 30° C., l'eau épurée ne dégage aucune odeur putride ou ammoniacale.

4° Enfin lorsque l'eau épurée ne renferme aucune substance chimique susceptible d'intoxiquer les poissons et de nuire aux animaux qui s'abreuveraient dans le cours d'eau où elle est déversée.

Nous pouvons ajouter, avec Mr A. Kling (Méthodes actuelles d'expertises employées au Laboratoire municipal de Paris, p. 142), qu'il ne faut pas considérer comme insuffisamment épurée, pourvu qu'elle soit impu-trescible, une eau résiduaire qui, n'ayant pas subi la nitrification complète, renferme encore une petite proportion d'azote à l'état d'ammoniaque ou de nitrite.

Analyses et contrôle de la pollution des eaux. — Toutes les opérations de détermination des teneurs en impuretés diverses, procédés d'épuration, contrôle de leur efficacité, et détermination des teneurs respectives en divers produits des eaux résiduaires d'une part, du cours ou de la nappe d'eau destiné à recevoir ces eaux d'autre part, nécessitent des analyses et essais nombreux, en

particulier celui très important des teneurs en oxygène du cours d'eau et des pouvoirs réducteurs, vis-à-vis de l'oxygène, de l'effluent résiduaire.

Ces analyses peuvent être faites de façon satisfaisante — mais après un certain entraînement, car certaines sont un peu délicates au point de vue opératoire — par le personnel du laboratoire de l'établissement industriel quand, ce qui sera souvent le cas, il en existe un.

Nous nous limiterons à l'étude de la teneur en oxygène du cours d'eau et aux relations qui existent entre sa consommation d'oxygène et sa capacité d'épuration.

L'intérêt de la consommation de l'oxygène dissous comme test de surveillance des eaux fluviales n'a pas échappé aux Services techniques d'Hygiène de la Ville de Paris. La consommation d'oxygène de l'eau de la Seine est mesurée régulièrement par ces Services. Les résultats en sont publiés dans les Annales des Services techniques d'Hygiène de la Ville de Paris. Cette consommation est déterminée, dans ces services, par une incubation de cinq jours, à la température du laboratoire. Les dosages d'oxygène sont faits par la méthode de Mohr, au moyen de la pipette d'Albert Lévy.

L'étude comparative de l'intensité de la pollution et de la capacité d'épuration spontanée, toutes deux estimées par des méthodes quantitatives, a été remarquablement faite par MM. Giberton, Professeur à la Faculté de médecine et de pharmacie de Lille, et A. Leys, Docteur en pharmacie (Thèse de Lille, 1936).

D'après ces auteurs, le déversement d'un effluent dans un cours d'eau devrait toujours être étudié en considérant :

1° L'intensité de la pollution provoquée par lui ;

2° La capacité d'épuration spontanée du cours d'eau ;

3° Les mesures à prendre pour que l'intensité de la pollution ne dépasse pas cette capacité d'épuration spontanée.

La dégradation des matières, dans les cours d'eau, ne peut être complète sans l'intervention de l'O. libre. Celui-ci doit être présent, au moins pour les réactions terminales.

L'oxygène dissous dans l'eau joue donc un rôle de premier ordre dans l'auto-épuration des fleuves, rivières, canaux, lacs, etc...

Le rôle prépondérant de l'O. dans la dégradation de la matière organique devait suggérer aux expérimentateurs l'idée d'estimer la matière organique d'une eau libre par l'O. libre consommée par cette eau lorsqu'on la conserve à une température constante pendant un temps déterminé. C'est la demande d'oxygène : « oxygen demand » des auteurs anglais et américains.

A. Leys a donné une définition précise de la demande d'oxygène et a montré qu'elle peut être une mesure scientifique de la pollution des eaux.

Par ailleurs, l'estimation de la capacité d'épuration spontanée est un problème très complexe ; mais l'influence de l'oxygène dans ce phénomène permet de tenter une solution valable, au moins dans un certain nombre de cas.

Par leur surface au contact de l'air, les cours d'eau dissolvent continuellement de l'O. Cet O. nouvellement dissous vient remplacer celui qui est consommé par la dégradation de la matière organique. Sans un rapide et continu apport d'O. atmosphérique, l'O. dissous ne pourrait avoir aucune influence importante sur les phé-

nomènes d'auto-épuration, la solubilité de ce gaz dans l'eau étant très faible.

La vitesse de dissolution de l'O. dans un cours d'eau ou une nappe d'eau est donc le facteur le plus important à étudier pour estimer la capacité d'épuration. On l'appelle encore vitesse de réaération.

Consommation d'O. des eaux. — Considérons d'abord le cas le plus simple : celui d'une eau bien aérée, ne contenant que très peu de matière organique. L'O. dissous y est en grand excès ; une faible proportion de celui-ci sera utilisée pour la dégradation de la matière organique. Pour estimer cette matière organique par la consommation d'O., la méthode qui vient le plus naturellement à l'esprit est : doser l'O. initialement dissous dans l'eau ; prélever un certain nombre d'échantillons d'eau dans des bouteilles entièrement remplies et bouchées avec des précautions telles qu'aucune redissolution d'O. ne soit possible ; conserver ces bouteilles à une température favorable et maintenue constante ; à intervalles réguliers, doser l'O. dissous dans un des échantillons. Lorsque deux dosages faits à quelques jours d'intervalle donnent le même résultat, on a, par différence avec l'O. initial, la consommation totale d'O. de la matière organique.

Dans le cas d'une eau peu chargée en matière organique et bien aérée, les échantillons conservés en vue des dosages successifs contiennent assez d'O. dissous pour que le cours de la désoxygénation puisse être étudié jusqu'au moment de la stabilisation. Au contraire, dans le cas d'une eau très chargée en matières organiques, il est nécessaire de fournir un grand excès d'O. Deux moyens sont possibles :

1° diluer l'eau polluée avec un volume convenable d'une eau pure et bien aérée. C'est la méthode de dilution encore la plus fréquemment employée aujourd'hui ;

2° ou traiter l'eau polluée, non diluée ou peu diluée, au moyen d'une quantité limitée d'air, en s'arrangeant de manière qu'il y ait toujours un excès d'air. Les divers appareils proposés comportent un dispositif permettant la mesure de l'O. gazeux absorbé. C'est la méthode d'aération dont l'inconvénient est le maniement d'un appareil plus ou moins délicat.

Cependant, il est possible que dans l'avenir, la méthode d'aération puisse supplanter la méthode de dilution. En effet, cette dernière comporte l'emploi d'un matériel de verrerie assez important, d'un incubateur et d'assez nombreux réactifs ; de plus elle nécessite une incubation de 5 jours, et ne se prête pas au travail sur le terrain.

Leys, dans son travail, utilise la méthode de dilution. Elle consiste à étendre l'eau polluée d'une quantité convenable d'eau pure saturée (mais non sursaturée) d'O. à la température de l'expérience. On reproduit ainsi les conditions convenables pour l'oxydation biologique : grand excès d'O. dissous par rapport à la concentration en matière organique.

L'auteur élimine auparavant une objection de principe que l'on peut faire à la méthode de dilution, en disant que, sous certaines précautions, les consommations d'O. de diverses dilutions sont exactement proportionnelles aux volumes d'eau polluée ayant servi à les préparer. Cela est confirmé par les résultats des expériences de Leys et par ceux des auteurs anglo-américains.

Le facteur temps. — L'influence de la durée d'incubation sur les résultats est très importante.

Comment évolue, en fonction du temps, la diminution de l'O. dissous dans les échantillons conservés à température constante ?

Pour une température d'incubation de 20° : il faut plus de 20 jours pour que l'O. dissous cesse de diminuer. Un temps d'incubation aussi long, d'ailleurs variable suivant les cas, entraîne de grandes complications d'ordre pratique et risque, de plus, de multiplier les causes d'erreurs. En opérant à 37°, on abrège le temps nécessaire ; mais on augmente aussi les causes d'erreur et on s'éloigne des conditions naturelles de l'auto-épuration des cours d'eau.

Les études expérimentales nombreuses, sur l'oxydation biologique des matières organiques des eaux polluées, ont montré que cette oxydation se fait en deux phases :

dans une 1^{re} phase, il y a production d'ammoniaque aux dépens des matières azotées et oxydation de la partie carbonée des molécules avec production de CO², ainsi que de substances organiques assez mal connues, analogues à celles qu'on trouve dans les terres cultivées et dans les eaux potables (matières humiques) ;

dans la 2^e phase, le phénomène essentiel est la transformation de l'ammoniaque en nitrites, puis en nitrates. La nitrification ne commence qu'au moment où la 1^{re} phase est presque terminée.

Pour Phelps, Theriault : la 1^{re} phase suit une loi bien définie. Lorsqu'une certaine constante K est connue, il suffit de doser l'O. initial et l'O. restant après une incubation de 3 ou de 5 jours, pour déterminer, par le calcul, la totalité de l'O. qui serait consommé dans la 1^{re} phase de l'oxydation biologique des matières organiques.

Nous désignerons, avec Leys, par :

Demande première d'oxygène d'une eau polluée : l'O. consommé par un litre de cette eau pendant la 1^{re} phase de l'oxydation biologique. C'est un résultat calculé d'après l'O. initial et l'O. au temps t , en appliquant les règles données par Phelps et Theriault, et en tenant compte de la dilution ; autrement dit, c'est la consommation d'O. en un temps t ;

Demande seconde : l'O. nécessaire à la 2^e phase, de nitrification ;

Consommation totale : la consommation des deux phases. Le mot « demande » marque bien qu'il s'agit d'une consommation en puissance.

L'intérêt spécial de la demande première. — Etant donné qu'il peut exister une différence importante entre la demande première d'O. et la consommation totale, la valeur des conclusions tirées de la demande première apparaît comme contestable. Leys pense cependant que la détermination de la demande première d'une eau polluée est une donnée très importante en pratique. En effet, ce qui est surtout nuisible, lorsqu'un effluent se déverse dans un cours d'eau, c'est la consommation d'O. brusque et intense qui se produit au début de la 1^{re} phase. La valeur de la demande première de l'effluent nous renseigne précisément sur sa puissance de consommation pendant cette 1^{re} phase.

La nitrification ne commençant qu'au moment où les phénomènes de la 1^{re} phase sont à peu près terminés, la demande seconde ne peut donc se manifester que loin du point de déversement. Elle ne peut pas s'ajouter à la demande première d'un autre effluent, les phéno-

mènes de nitrification sont, en effet, inhibés par ceux de la 1^{re} phase d'oxydation. La demande seconde se manifesterait donc seulement à un moment où la redissolution de l'O. atmosphérique pourrait la satisfaire aisément. Enfin, il semble bien que l'ammoniaque puisse disparaître des cours d'eau par un mécanisme autre que la nitrification. Ces considérations relatives à la demande seconde font ressortir l'intérêt spécial de la demande première.

Il est donc très important de connaître cette demande première. Malheureusement, elle est difficilement accessible à l'expérimentation directe. En effet, pour la déterminer, il serait nécessaire de suivre quotidiennement la consommation d'O. jusqu'au moment où commence la 2^e phase ; mais le commencement de la 2^e phase chevauche légèrement sur la fin de la 1^{re} et c'est à Leys que revient le grand mérite d'avoir montré que la demande première peut être calculée au moyen de la consommation d'O. après un temps court.

Vitesse de réaction de la première phase d'oxydation biologique. — Des recherches nombreuses ont confirmé que la diminution de la concentration en matières organiques dans les eaux polluées soumises à l'incubation, en présence d'un excès d'O. dissous, par la méthode de dilution, a lieu conformément à la règle de Phelps et ont permis de représenter scientifiquement l'allure des phénomènes chimiques de la 1^{re} phase.

Bien que l'oxydation bio-chimique des matières organiques des eaux soit une série de réactions complexes, Phelps a appliqué à ce phénomène, pris dans son ensemble, une des lois relatives à la vitesse des réactions chimiques simples. Cet auteur, et plus tard, Theriault,

ont montré que la loi qui représente la vitesse de décroissance de la concentration en matières organiques, en présence d'O. en excès et de micro-organismes, est la loi des réactions monomoléculaires et totales et non celle des réactions bimoléculaires. Cette exception apparente aux lois de la Chimie s'explique parce que la réaction est dominée par un facteur biologique : le développement des micro-organismes. Ce développement est conditionné par la quantité de nourriture présente, c'est-à-dire par la concentration en matière organique. Ces auteurs ont montré que la consommation d'O. dépend essentiellement de la multiplication des germes aérobies et que cette consommation devient très faible lorsque le nombre des bactéries atteint une certaine limite à partir de laquelle la multiplication cesse de se produire. Si, par divers moyens, on s'arrange pour que la multiplication reprenne son cours, la consommation se manifeste de nouveau.

Le plancton des cours d'eau se nourrit de bactéries. S'il y a, en même temps, du plancton et des bactéries, celles-ci n'atteindront jamais la limite qui commande l'arrêt de la multiplication, et la consommation d'O. se poursuivra jusqu'à épuisement de la nourriture. On comprend ainsi que la vitesse de décroissance de la concentration en matière organique, soit, à chaque instant, proportionnelle à la quantité de matière organique présente. C'est justement la règle de Phelps.

Pour étudier la vitesse de cette décroissance, il faut choisir un mode d'expression convenable de la concentration de la matière organique. On peut exprimer la matière organique par l'O. dissous cédé pendant l'oxydation biologique, comme on l'exprimerait en oxygène cédé par le permanganate dans le procédé usuel. Par

conséquent, la demande première d'O. d'une eau peut être considérée comme une expression de sa teneur en matières organiques.

Leys, partant de la loi des réactions monomoléculaires totales de Wilhelmy, et l'appliquant à l'étude des oxydations biologiques, montre que la vitesse de décroissance de la concentration en matières organiques peut s'exprimer par l'équation différentielle :

$$-\frac{dL_t}{dt} = K L_t \quad \text{ou} \quad \frac{dL_t}{dt} = -K L_t$$

le signe — exprime que la quantité de matières organiques représentée par L_t diminue.

L'intégrale correspondante s'écrit :

$$\begin{aligned} \text{Log } \frac{L_t}{L} &= -K t \\ L_t &= L e^{-k t} \end{aligned}$$

Passant au système des logarithmes décimaux, on doit multiplier K par 0,4343. On pose $k = 0,4343 K$, on a

$$L_t = L 10^{-k t}$$

L : demande première d'oxygène : soit la concentration initiale en matières organiques ;

L_t : quantité de matières organiques restant au temps t : soit la fraction de la demande première subsistant au temps t ;

k étant un coefficient de vitesse de réaction que nous étudierons plus loin.

On a aussi : $L - L_t = X_t$, consommation d'oxygène au temps t (différence entre l'oxygène initial et l'oxygène restant au temps t).

Il est remarquable de constater qu'un phénomène dominé par un facteur biologique suive une loi exponentielle.

Pour que cette loi, sur laquelle est fondée la mesure de L, soit applicable, il est indispensable que les conditions nécessaires à une croissance normale des micro-organismes (bactéries et plancton) soient réalisées. Ces conditions sont :

- l'absence de substances toxiques ;
- une réaction voisine de la neutralité, de préférence vers 7,2 ;
- une pression osmotique favorable ;
- la présence de tous les éléments chimiques nécessaires à la vie et à la reproduction des êtres microscopiques.

L'eau distillée pure ne doit pas être employée comme eau de dilution : pression osmotique trop faible, présence fréquente de cuivre (toxique), absence des minéraux indispensables.

L'influence de la température sur la consommation de l'O. dissous est indiquée par une formule exprimant la variation de la constante de vitesse k en fonction de la température.

La valeur de L dépendant de celle de k, il est évident qu'elle est affectée par les variations de la température. Dans la pratique courante, on peut négliger la correction de température de L, lorsqu'au moment du prélèvement, la température de l'eau étudiée ne diffère que de quelques degrés de la température de référence 20°. Donc la demande première d'oxygène L peut être prise comme mesure de la pollution puisque l'incubation est toujours faite à 20°.

Détermination de L. — Nous avons vu que le dosage de l'O. initial et de l'O. restant au temps t donne la consommation d'O. au temps t par l'équation : $X_t = L - L_t$.

Voici comment Leys montre la possibilité d'obtenir une valeur approchée de L : il faut étudier très soigneusement la consommation d'O. en fonction du temps. Puis on représente graphiquement le phénomène en portant, en ordonnée, les consommations d'oxygène (X_t), et, en abscisse, les temps.

Comme la 2^e phase commence un peu avant la fin de la 1^{re}, on a une valeur approchée de la demande première L en prolongeant la courbe dans la direction suivie avant que se manifeste l'influence de la 2^e phase. Cette détermination n'est pas une opération de pratique courante puisqu'elle oblige à mettre en incubation un nombre assez important d'échantillons. Cette détermination approchée de L est cependant très utile, car elle permet de déterminer la constante k relative au type d'eau utilisé.

Calcul de k : coefficient de vitesse de réaction. — On détermine k par une méthode d'approximations successives, en partant d'une valeur approchée de L et en étudiant complètement la marche de la désoxygénation, en fonction du temps, par une série de déterminations de X_t .

Theriault (1927, *a*) a multiplié les études sur k et il conclut que k se comporte bien comme une constante de vitesse de réaction chimique lorsque les conditions convenables sont réalisées. Ce qui augmente considérablement l'intérêt de cette conclusion, c'est que Theriault (1927, *b*) a démontré que le coefficient k est pratiquement le même pour toutes les eaux appartenant à un

même type, pourvu que la dilution soit faite dans certaines conditions.

Il suffit donc de déterminer expérimentalement, une fois pour toutes, la valeur de k pour chaque type d'eau qu'on peut avoir à étudier.

La valeur de k à 20° est le plus souvent voisine de 0,1.

La constante k étant connue, la détermination de L devient simple et précise. Il suffit, en effet, d'une seule mesure de consommation d'oxygène, après quelques jours d'incubation (X_t). Un calcul donne la valeur de L .

En effet on a : $X_t = L(1 - 10^{-kt})$ d'où : $L = \frac{X_t}{(1 - 10^{-kt})}$

La détermination de L peut donc être introduite dans la pratique de l'analyse des eaux. Ce résultat est très important. La demande première d'O. est, en effet, une expression rationnelle de la teneur d'une eau en matières organiques putrescibles, puisqu'elle est fondée sur la reproduction, *in vitro*, du phénomène d'auto-épuration naturelle des cours d'eau.

La mesure la plus scientifique de la pollution d'un cours d'eau paraît donc bien être la détermination de la demande première d'oxygène.

Causes d'erreur. — D'après l'ensemble des considérations précédemment exposées, on peut, si la consommation d'O. suit son cours normal, calculer L d'après une seule détermination de X_t , faite après une incubation de 3 ou de 5 jours. Pratiquement, ce dosage unique peut amener, dans certains cas, à des résultats erronés.

Dans certains cas, on peut observer, pendant les premières heures qui suivent la dilution d'une eau putride, une consommation d'O. d'abord extrêmement rapide,

puis après 24 heures, prenant une allure normale : il y a eu « demande immédiate » d'oxygène.

Dans d'autres cas, au contraire, il peut y avoir un certain retard au début de la réaction.

Il est possible d'éviter toute erreur due à une demande immédiate ou à un retard, en effectuant 3 mesures de consommation d'O. : l'une après un jour, l'autre après 3 jours, la dernière après 5 jours.

Technique de la mesure de la consommation d'oxygène. — Le principe de la mesure de la consommation d'O. d'une eau pendant un temps donné est simple. On remplit un flacon à bouchage émeri avec l'eau à étudier, on le bouche pour éviter le contact de l'O. atmosphérique ; l'échantillon ainsi préparé est soumis à l'incubation à température constante pendant un temps donné. La consommation d'O., pendant ce temps, et à cette température, est définie par la différence entre la concentration initiale et la concentration finale en oxygène dissous, exprimée en milligrammes par litre. Les eaux très polluées doivent être diluées, dans une proportion convenable, avec une eau pure et aérée, et il faut tenir compte de la dilution dans le calcul du résultat.

Certaines précautions sont nécessaires pour éviter les causes d'erreurs. Il faut éviter :

1° Une mauvaise régulation de la température pendant l'incubation qui serait une cause d'erreur grave, puisqu'à une variation de 1° dans la température, peut correspondre une variation de 5 % de la consommation d'O. Elle est facilement évitée par l'emploi d'un thermostat sensible et fidèle.

2° Eviter le contact des échantillons avec l'O. atmosphérique à certains moments des manipulations et pen-

dant l'incubation le mieux possible. Il faut éviter, en particulier, les agitations brutales, qui emprisonnent des bulles d'air et multiplient, ainsi, les surfaces de contact.

Pour répartir l'eau polluée dans les flacons jaugés (en verre, de 250 à 300 cc., extrêmement propres : nettoyage au mélange sulfo-chromique, flacons numérotés) qui serviront à l'incubation, on procède par siphonage, en ayant soin de rejeter les premières parties écoulées qui ont été au contact avec l'air des tubes du siphon. Avoir soin, aussi, de maintenir l'extrémité du siphon au-dessous de la surface du liquide. On obtient, ainsi, plusieurs échantillons préparés dans des conditions de turbulence égale. On en conserve un, qui servira au dosage de l'oxygène initial ; les autres seront portés à l'incubation. Le bouchage à l'émeri est nécessaire et suffisant lorsque les échantillons sont plongés dans un incubateur à bain d'eau beaucoup plus préférable aux incubateurs à air. Les bouchons émeri doivent être légèrement biseautés à leur extrémité, de façon à permettre un bouchage sans interposition de bulles d'air. Les bouchons émeri n'étant pas interchangeables doivent être attachés au col du flacon.

Après l'incubation, ne pas transvaser le liquide pour doser l'O. La méthode de Winkler, modifiée par Rideal et Stewart, se prête bien à ce dosage. Les réactifs sont introduits, à la pipette, par le goulot du flacon, au-dessous de la surface du liquide. Le débouchage rapide au moment de l'introduction des réactifs n'amène pas d'erreur appréciable.

3° Employer une bonne technique de dilution. L'eau de dilution sera de l'eau de source ou de l'eau distillée additionnée de certains sels stockée en quantité suffisante pendant longtemps à la température du labora-

toire. Cette précaution est nécessaire car l'eau de dilution peut consommer elle-même de l'oxygène.

Plusieurs auteurs américains ont fait observer que la composition ionique de l'eau de dilution pouvait avoir une influence sur la vitesse des oxydations. Il faut donc éviter l'emploi de l'eau de mer ou de l'eau distillée comme eau de dilution. Les eaux qui ont été javellisées contiennent quelquefois encore des traces d'hypochlorites. Il est possible d'éliminer rapidement les traces d'hypochlorites par une simple agitation, en présence de charbon végétal pharmaceutique, suivie d'une filtration et d'un stockage de quelques jours à l'air. Certains laboratoires américains préconisent l'emploi de solutions salines tamponnées, soit avec des phosphates alcalins, soit avec du bicarbonate de soude. Voici une formule facile à préparer : Solution de bicarbonate de soude à 0 gr. 30 par litre dans l'eau distillée (Mohlmann, 1928). Leys conseille d'y ajouter un peu de chlorure de calcium : 2 cc. d'une solution de $\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ à 2 %, dans un litre d'eau de dilution. L'ion Ca neutralise l'action oligodynamique du cuivre (Violle et Giberton, 1929).

Leys a employé, comme eau de dilution, cette solution bicarbonatée, parallèlement à l'eau de source (eau potable de Lille) et a obtenu des résultats semblables.

4° Employer une méthode de dosage de l'oxygène dissous adaptée au cas des eaux usées.

Le dosage de l'oxygène dissous dans les eaux polluées a été complètement exposé par Leys. Pour cet auteur, les eaux polluées contiennent des substances réductrices qui peuvent réagir avec les réactifs et fausser une méthode qui serait excellente si elle était employée sur des eaux pures. C'est ainsi que la méthode de Winkler doit être modifiée. Il est indispensable d'effectuer un traite-

ment préliminaire de l'eau par un agent oxydant, pour éviter l'influence réductrice des sulfures, nitrites, sels ferreux et de certaines substances organiques. Ces divers produits agiraient sur l'iode ou sur les oxydes supérieurs du manganèse pendant l'application de la méthode de Winkler. Si aucune précaution n'était prise, les résultats observés seraient trop faibles.

Rideal et Stewart (1901) ont montré qu'il suffit, dans la plupart des cas, de traiter l'échantillon par un excès de permanganate en milieu sulfurique à froid. Après un temps de contact suffisant, on détruit l'excès de permanganate par la quantité strictement nécessaire d'un oxalate. Cette méthode est très employée en Angleterre et aux Etats-Unis.

On continue ensuite par la méthode de Winkler dont le principe est le suivant : L'eau est additionnée d'un sel manganeux, puis rendue alcaline par une solution de potasse contenant de l'iodure de potassium. L'alcalinisation provoque la formation d'un précipité hydroxyde manganeux $Mn(OH)_2$. Une partie de ce précipité se transforme, au contact de l'O. dissous, en un oxyde supérieur du manganèse. Après agitation, le milieu est acidifié. Les composés du manganèse, formés antérieurement par l'action de l'O. dissous, agissent alors comme oxydant vis-à-vis de l'IK, en libérant l'I.

De l'examen des formules de réaction, il résulte qu'un atome d'O. donne deux atomes d'I. Donc 8 gr. d'O. correspondent à 127 gr. d'I. L'iode est titré par l'hyposulfite de sodium : $0,02\text{ N } (\frac{N}{50})$ ou $0,025\text{ N } (\frac{N}{40})$. 1 cc. d'hyposulfite de sodium, 0,02 N, correspond à 0,16 milligr. d'O. 1 cc. d'hyposulfite de sodium, 0,025 N, correspond à 0,2 milligr. d'O.

Voici les réactifs et le mode opératoire décrits par Theriault (1931) et adoptés comme méthode officielle, en Amérique, par la Federation of Sewage Works Association (1935) :

RÉACTIFS :

1. *Acide sulfurique concentré* (Densité : 1,83).
2. *Permanganate de K* : 6gr. 2 dans un litre d'eau.
3. *Oxalate de K ou de Na* : dissoudre 20 gr. de l'un de ces sels et compléter à 1 litre.
4. *Sulfate manganoux* (SO^4Mn , $4\text{H}^2\text{O}$) : en dissoudre 480 gr. dans l'eau et compléter à 1 litre.
5. *Potasse iodurée* : dissoudre 700 gr. de potasse caustique pure et 150 gr. d'IK dans de l'eau et compléter à 1 litre. Cette solution sera conservée dans un flacon émeri en verre jaune, bouchon graissé. Ce réactif est très concentré de telle sorte qu'un faible volume soit suffisant pour neutraliser l' SO^4H^2 ajouté au début du dosage, et pour provoquer une réaction alcaline (3 cc. de potasse iodurée sont nécessaires pour neutraliser 1cc. d' SO^4H^2 concentré).
6. *Hyposulfite de Na*, 0,02 ou 0,025 N. — Solutions préparées à partir de la solution décimale habituelle, par dilution avec de l'eau distillée bouillie et refroidie à l'abri de l'acide carbonique de l'air (tube protecteur à chaux sodée). Ces solutions devront être préparées peu de temps avant l'usage et être vérifiées tous les 2 jours sur une solution correspondante de bichromate de K pur (préparée par pesée de 0 gr. 98 par litre, pour la solution 0,02 N, et 1 gr. 225 pour la solution 0,025 N).

Technique de la vérification : 2 à 3 gr. d'IK pur sont dissous dans 50 cc. d'eau distillée. On ajoute 10 cc. SO^4H^2

au dixième, puis 20 cc. de solution étalon de bichromate, 0,02 ou 0,025 N. L'iode libéré correspond à 20 cc. de solution 0,02 ou 0,025 N. On titre l'hyposulfite sur cet iode.

7. *Empois d'amidon.* — Leys recommande le réactif suivant : Solution à 1 % d'amidon soluble (Rhône-Poulenc), dans une solution saturée à froid de ClNa . On l'obtient ainsi : mesurer 90 cc. de la solution saturée de ClNa , les porter au voisinage de l'ébullition. D'autre part, mettre en suspension 1 gr. d'amidon soluble dans 10 cc. de solution de ClNa froide. Mélanger. Faire bouillir un instant.

Mode opératoire. — Ajouter successivement dans le flacon de 250 à 300 cc. contenant l'eau à essayer :

0 cc. 5 de SO^4H^2 concentré, puis la solution de permanganate jusqu'à coloration rose persistante. Boucher et agiter. Pratiquement, il suffit de laisser l'échantillon au contact d'un léger excès de permanganate pendant 5 minutes.

Ajouter ensuite 0 cc. 5 d'oxalate. Si la décoloration n'est pas complète, recommencer. Il ne doit rester aucune trace de produits brunâtres.

Quand le permanganate est complètement décoloré, ajouter 1 cc. de sulfate manganoux, puis 3 cc. de potasse iodurée. Ces additions doivent être faites au-dessous de la surface du liquide, de manière qu'il ne vienne pas d'hydroxyde manganoux au contact de l'air. Boucher et agiter par retournements répétés. Le bouchage fait écouler au dehors quelques cc. de liquide qu'il faut tenir compte dans le calcul. On fera une vingtaine de retournements, mais veiller à ce que le temps pendant lequel dure cette phase alcaline du dosage ne soit pas plus

prolongé. En effet, certaines substances organiques pourraient réduire en milieu alcalin, les oxydes supérieurs du manganèse formés.

Attendre, seulement, que le précipité ait commencé à se déposer, et ajouter 1 cc. d' SO_4H_2 concentré en le faisant couler le long de la paroi du goulot. Reboucher et agiter. Les composés du Mn se dissolvent, et l'iode est libéré.

A ce stade, on peut attendre avant de terminer le dosage. Par exemple, on peut effectuer sur le terrain les opérations décrites jusqu'ici, et transporter alors les flacons au laboratoire pour la titration finale.

Après s'être assuré que la diffusion de l'iode est bien uniforme, on enlève à la pipette 20 cc. du liquide et on dose l'iode, dans le flacon même, par l'hyposulfite 0,02 ou 0,025 N.

Cette technique n'est pas applicable aux eaux résiduaires contenant des sulfites, hyposulfites et polythionates (papeteries) car les polythionates se décomposent, en milieu alcalin, en sulfites et hyposulfites. Il faut transformer ces produits en sulfates avant l'addition de potasse iodurée. Theriault (1931) a mis au point une technique d'oxydation en milieu alcalin par les hypochlorites. Theriault utilise comme réactifs :

1. Hypochlorite de soude alcalin : Solution contenant une molécule gramme d'hypochlorite par litre et d'une alcalinité correspondant à une solution de soude décimale.

2. Solution alcaline d'IK : 17 gr. d'IK sont dissous dans l'eau et on complète à 100 cc. On ajoute 1 cc. de soude normale pour la conservation.

3. Sulfite de sodium : Solution 0,05 M (0,1 N) contenant 6 gr. 3 de sulfite de Na par litre.

Mode opératoire : Ajouter d'abord l'hypochlorite alcalin, en évitant un excès. Essayer d'abord 0 cc. 2 s'il s'agit d'une eau de rivière polluée par les résidus en question. Mélanger en retournant. Durée : 20 secondes. Détruire l'excès d'hypochlorite en ajoutant 1 cc. d' SO_4H_2 au dixième et 1 cc. de solution d'IK. Agiter. Eliminer l'I. par addition de sulfite (sans excès) en présence d'empois d'amidon comme indicateur. (S'il n'y a pas ou s'il y a très peu d'excès d'hypochlorite, recommencer avec une dose d'hypochlorite plus forte). Ajouter, enfin, 1 cc. de sulfate manganoux et 1 cc. 3 de potasse iodurée et continuer par la méthode de Winkler. Le traitement à l'hypochlorite oxyde également les sulfures, nitrites et sels ferreux.

Technique des prélèvements. — Il est bon de les faire loin du bord. Pour cela on utilise un bateau ou l'on profite de l'existence d'un pont. Il est très important, en effet, de ne pas mettre en suspension les matières déposées sur le fond. Les échantillons doivent être rapidement portés au laboratoire pour éviter la consommation pendant le trajet. En été, il est bon de les transporter dans la glace.

Traitement préliminaire des échantillons. — Si l'échantillon est acide, le neutraliser par additions ménagées d'une solution de carbonate de sodium (anhydre) à 1 % (Virage au vert du bleu de bromothymol).

Si l'échantillon est trop alcalin, le ramener aux environs de $\text{pH} = 7$, au moyen d'HCl dilué à 2 %.

Un ajustement exact du pH n'est pas nécessaire à cause du pouvoir tampon de l'eau de dilution.

Dans le cas d'eaux résiduaires industrielles trop acides, trop alcalines ou ayant été bouillies, il est nécessaire d'ensemencer les échantillons avec une trace de vieille eau d'égout (bactéries) et un peu d'eau de rivière propre (plancton) : 10 cc. d'eau de rivière pour 1 litre.

On peut alors procéder à la dilution et à l'incubation.

N. B. — La méthode ne se prête qu'avec de grandes restrictions à l'étude des effluents provenant de lits bactériens ou autres procédés d'épuration biologique. En effet, dans ces effluents les agents de nitrification sont en pleine activité. On peut mesurer la consommation d'O. comme test empirique, mais il est impossible de calculer, à partir des valeurs observées, celle de la consommation totale, puisqu'aucune équation n'est encore applicable aux phénomènes de la 2^e phase d'épuration : nitrification.

Application. — Pour étudier l'oxydation biologique dans un cours d'eau, on effectue des prélèvements en deux points A et B séparés par une distance telle que l'eau passée en A arrive en B après un temps de l'ordre de un à trois jours. Ce temps d'écoulement devra être mesuré aussi exactement que possible (voir *Thèse de Leys*, Lille, 1936, p. 70).

Si aucune influence perturbatrice ne vient se manifester entre A et B, on doit trouver que la demande première d'O. en B (point d'aval) est liée à la demande première en A (point d'amont) par la relation

$$L_B = L_A 10^{-kt}$$

Pour être en mesure de tirer de cette règle toutes les

conséquences pratiques intéressantes pour la surveillance des cours d'eau, il est indispensable de connaître tous les facteurs susceptibles d'influencer les mesures de la demande première en deux points A et B.

Il est des facteurs dont l'influence est évidente. Par exemple, les variations de la vitesse du courant, l'existence d'affluents entre A et B, l'existence de diverses causes de pollution entre A et B, la nitrification.

D'autres facteurs agissent d'une façon insidieuse et, cependant, quelquefois très importante, sur la consommation de l'O. dissous. Ce sont les matières en suspension et les boues déposées sur le fond. Adeney (1928) a très justement insisté sur le danger de la pollution des cours d'eau par les matières en suspension.

En ce qui concerne les boues, lorsque la température est basse il ne se produit à peu près aucune réaction, mais lorsque la température devient favorable à l'activité microbienne, il se déclenche, dans les couches anciennes, des fermentations anaérobies plus ou moins intenses, qui se manifestent par des dégagements gazeux et par la mise en solution de produits très avides d'O.

Le fond exerce donc, dans ces conditions, une « demande immédiate » dont l'intensité sera toujours très difficile à prévoir.

Quant aux fines particules en suspension, Theriault et Mac Namee (1931) ont montré que l'oxydation de ces particules se fait suivant une loi semblable à celle qui régit l'oxydation biologique des matières solubles (règle de Phelps, coefficient $k = 0,1$ à 20%).

TRAITEMENT DE QUELQUES EAUX RÉSIDUAIRES INDUSTRIELLES

Nous nous proposons d'indiquer, dans le dernier chapitre de ce travail, les moyens effectifs de lutte contre la pollution des rivières, dans leurs grandes lignes, et parmi les mesures et dispositifs techniques plus ou moins connus et très divers dans leur forme et leur action pour récolter, épurer et évacuer, conformément aux lois de l'hygiène, les eaux usées industrielles.

Nous nous attacherons plus particulièrement aux branches ayant fait l'objet de nos observations.

L'épuration de chaque effluent industriel est une question d'espèce, en raison même de la nature de l'industrie.

Les moyens de purification des eaux résiduaires que l'on peut utiliser sont : soit d'épandage, soit l'épuration biologique, soit l'épuration chimique.

D'abord apparaît la nécessité des essais préalables. Les études comportent en premier lieu la connaissance exacte des procédés de fabrication, parfois tenus secrets dans certaines industries. Ensuite on doit voir si on n'a pas intérêt à récupérer les sous-produits utilisables. Les expériences préliminaires représentant généralement des cas d'espèce devront toujours être effectuées sous des volumes assez conséquent et non pas en laboratoire.

Il faut obtenir, pour les eaux résiduaires industrielles :

1° la suppression complète des matières en suspension ;

2° éviter tous rejets d'eaux acides ou contenant des produits antiseptiques ;

3° rejeter un effluent final ne représentant, par rapport au cours d'eau, qu'une quantité de matières organiques convenable.

En ce qui concerne les limites d'épuration, nous avons vu que la Commission Royale Anglaise fixe en dehors de la neutralisation deux limites maxima à la pollution, à savoir :

1° La teneur en matières en suspension ne doit pas dépasser, suivant la provenance des eaux, 30 à 60 milligrammes par litre ;

2° L'épreuve d'auto-épuration déterminée par la quantité d'O. dissous, fixée en 5 jours dans un mélange d'eau résiduaire et d'eau pure, ne doit pas être supérieur à 20 ou 40 milligrammes par litre, suivant les eaux.

Enfin, nous avons vu que les effluents ne doivent pas présenter des teneurs supérieures à celles du tableau suivant :

Matières en suspension	{	organiques sèches..	0,01
		minérales sèches...	0,03

Matières dissoutes	{	carbone organique..	0,02
		azote organique.....	0,003

Métaux (sauf Ca, Mg, K, Na) : 0,02.

Arsenic : 0,0005.

Chlore libre, après addition de SO^4H^2 : 0,01.

Soufre, en sulfate : 0,01.

Acidité, en HCl : 0,02.

Alcalinité, en soude caustique : 0,01.

Matières huileuses, pétrole : 0,0005.

Aucune coloration, lorsqu'on examine l'eau sur un fond blanc à travers une épaisseur de 25 mm., ne doit apparaître.

On doit interdire le rejet au cours d'eau de tout effluent contenant :

a) des substances chimiques : Cl, hypochlorite, SO^4H^2 , sulfures métalliques solubles, cyanures, etc... et ceci dans une proportion supérieure à la quantité minima que l'on peut directement déceler par une analyse chimique ;

b) les hydrocarbures (pétroles, goudrons) et graisses en quantités telles que l'on puisse nettement en constater la présence ;

c) des solutions de chaux vive trop concentrées ; il faut qu'on ne puisse observer aucune réaction alcaline nette en aval de leur débouché ;

d) des sels minéraux solubles, susceptibles d'augmenter la teneur en sels des cours d'eau ;

e) des solutions solides ou liquides putrides.

MOYENS DE TRAITEMENT DES EAUX RÉSIDUAIRES

Pour arrêter les matières en suspension, on a recours à la décantation, puis à la précipitation, celle-ci ayant l'avantage de récupérer les matières colloïdales et celles en émulsion.

En thèse générale, on a avantage à traiter l'ensemble des eaux de l'usine et pour cela constituer des bassins

régulateurs afin d'obtenir un sewage de composition moyenne constante.

Parfois, avant l'envoi dans ces bassins, certaines catégories d'eaux sont soumises à des traitements spéciaux, étant donné leur caractère particulier. Bref on cherche par des dispositions diverses à obtenir un effluent stable. Toutes les eaux acides doivent être neutralisées, ce qui entraîne souvent à l'utilisation de méthodes chimiques.

Pour supprimer les matières en solution, les procédés biologiques sont employés, mais encore est-il nécessaire que les eaux résiduaires n'entravent pas, du fait de leur composition, le processus de l'opération ; sinon on fait appel à des traitements préalables.

Devant la multiplicité des cas, il est totalement impossible de procéder à un examen d'ensemble. Les progrès industriels, les fabrications nouvelles, font chaque jour varier les problèmes, à tel point qu'il faut se cantonner dans des vues générales.

I. — *Eaux résiduaires industrielles contenant des matières organiques*

Et d'abord celles provenant des *abattoirs* qui peuvent parfois être très nocives. En effet, parmi les animaux abattus, il peut s'en présenter qui soient atteints de maladies microbiennes. Les statistiques des viandes saisies le font ressortir nettement. Les germes nocifs peuvent être, de ce fait, déversés avec les eaux résiduaires.

La bactériodie charbonneuse, les bacilles paratyphiques A et B, le bacille tétanique, le vibrion septique, qui se

trouvent dans les organes de ces animaux, risquent de contaminer l'homme.

D'autres espèces, telles que la bactériémie du charbon, le bacille de la nécrose, les bacilles de l'entérite du porc ou des bovidés, peuvent déterminer des épizooties. La fièvre aphteuse est certainement propagée de la sorte.

Enfin, ces eaux résiduaires peuvent contenir les œufs des parasites.

D'après M. G. Brévot, Inspecteur du Service Vétérinaire Sanitaire de la Seine, l'effluent des abattoirs de la Villette donne au centimètre cube :

Etuve à 37°	{	microbes aérobies.....	347.000.000
		microbes anaérobies..	19.400.000

et l'analyse chimique fait ressortir leur grande putrescibilité.

Résidu sec par litre : total : 6.930 mgr.	{	organique. 6.829
		minéral... 101

Matières organiques par litre (oxydabilité) : 788 mgr.

Azote total : 616 mgr.	{	ammoniacal.. 80
		organique.... 536

Matières grasses : 90 mgr.

Ainsi les eaux d'abattoirs sont une menace continuelle pour la santé publique.

Dans les tueries de campagne, ces eaux sont évacuées par les fossés, elles dégagent de mauvaises odeurs, et risquent de contaminer les nappes aquifères par infiltration. On pourrait les utiliser pour l'agriculture, mais en pratique, l'arrosage est difficile. Si on veut procéder à l'épandage, il faudra prévoir des bassins de décantation avant l'irrigation.

Les procédés biologiques ne sont pas applicables, ils

donnent en général de mauvais résultats, tout d'abord parce que le volume à traiter n'est pas constant, les abattoirs n'étant utilisés que quelques jours par semaine, et que le séjour des eaux dans les fosses septiques se trouve ainsi être trop long, d'où dégagement d'odeurs sur les lits bactériens ; enfin parce que ces eaux sont trop chargées de matières organiques. La décantation n'est pas meilleure, parce que le sang coagulé se dépose difficilement.

Dans les villes où l'on peut opérer des rejets en égouts, il est indispensable de prévoir des agencements préliminaires à l'intérieur même des abattoirs. Des grilles et paniers coïncidant avec des regards seront placés tous les 8 ou 10 cm. permettant d'enlever journellement ou plusieurs fois par jour, les résidus déposés. Ces paniers seront lavés et désinfectés. On donnera au collecteur une grande section et on intercalera dans les canalisations des fosses de un mètre cube bien étanches qui récoltent les boues. Nettoyage tous les 8 jours.

En dehors de la possibilité des rejets en égouts, on doit traiter ces eaux résiduaires par la précipitation chimique. Après passage dans les paniers filtrants, on précipite les matières organiques en suspension par le sulfate ferrique : 1 à 2 kg. par m³ ou par le ferrozone qui est un mélange de sulfate ferrique et de chlorure de chaux. On décante. On récolte les boues et les écumes qui servent généralement d'engrais. Quant à l'eau, étant encore putrescible, on l'envoie à l'épandage sur prairies : 10 m³ par m² et par jour, ou au lit bactérien.

En cas de maladie d'un animal abattu, on doit toujours adjoindre à ces traitements la possibilité de stériliser l'effluent. Et cela nous amène à dire que l'on peut traiter aussi les eaux d'abattoirs par le Cl. Pour cela, on les

débarrasse par décantation du sable, de la graisse et des boues, puis on les fait passer par deux réservoirs de brassage, où elles sont mélangées avec juste assez de chlore pour coaguler les protéines ; on décante à nouveau et l'on rejette à la rivière. Les boues sont riches en ammoniacque. Avec ce procédé on peut avantageusement mélanger les eaux domestiques aux eaux d'abattoirs.

Nous abordons maintenant l'étude des eaux résiduaires des *industries lainières et textiles* dont les effets polluants sur la rivière l'Espierre, qui se jette dans l'Escaut, sont une source de conflit avec un pays voisin et ami.

Ces eaux contiennent des débris de laine brute, de la terre, du sable, des matières grasses solubles (suint) ou insolubles dans l'eau, des acides gras volatils, des acides fixes (phénique, lactique, etc...), des matières colorantes, enfin des minéraux comme le carbonate de potasse contenu dans le suint. C'est la présence des matières grasses qui pollue si gravement l'Espierre. On ne peut pas non plus les envoyer dans les égouts, car leur mélange avec les eaux d'égout rend celles-ci très difficiles à épurer.

L'épuration, indispensable, est combinée avec la récupération, d'au moins du carbonate de potasse et des matières grasses, par des procédés chimiques. L'eau résiduaire encore putrescible est envoyée à l'épandage ou au lit bactérien (percolateur) précédé de la fosse septique. Quant aux boues, elles peuvent servir d'engrais pour les céréales.

Le rejet direct à la rivière des eaux résiduaires du premier stade du traitement des textiles végétaux indigènes : chanvre, lin, a donné lieu à des plaintes non moins vives, et d'ailleurs justifiées, que le peignage de la laine. Ce premier stade est le rouissage, opération qui

consiste à laisser les pailles de ces végétaux macérer dans l'eau relativement stagnante. Les eaux provenant de ces fosses, qui sont 20 à 30 fois en poids celui de la paille, sont très chargées en matières organiques, en partie déjà en putréfaction. On précipite ces matières organiques par la chaux, et on décante. L'effluent peut soit être envoyé directement à la rivière si le rapport des débits rivière-effluent est élevé, soit être conduit à l'épandage : 1 litre par m² et par jour, soit enfin être, après neutralisation partielle et décantation, envoyé au lit bactérien ou au procédé des boues activées, dont les effluents peuvent aller à la rivière.

Quant aux eaux résiduaires des *laiteries*, elles contiennent beaucoup d'eau vu les exigences hygiéniques, d'eaux de lavage des récipients à lait, du beurre et de ses appareils de fabrication, enfin des locaux. Ces eaux sont riches en matières organiques et en matières grasses et sont putrescibles, en 4 à 8 heures suivant leur composition, et acides. Elles ne peuvent être directement évacuées au cours d'eau. On peut les traiter par 2 procédés :

1. *Biologique* : Ces eaux, placées en fosses septiques, donnent lieu tout d'abord à une réaction acide, qui devient neutre par la suite. Après 6 jours, il se produit une décomposition des matières solides : 65 % de la matière organique. Ce temps de séjour très long tient au fait que les ferments lactiques, contenus dans ces eaux, retardent la désintégration. Lorsque tout est transformé en sucre, la décomposition commence. Les eaux sont ensuite envoyées sur des lits bactériens ou sont irriguées sur des terrains.

2. *Chimique* : Ces eaux sont recueillies dans un bassin d'attente, puis reprises par une pompe qui aspire en même temps un lait de chaux. L'ensemble est refoulé dans un bassin de décantation. Le lait de chaux accélère le phénomène naturel de saponification des corps gras, ainsi que la fermentation des matières albuminoïdes. Le bassin dégage des gaz abondants, et les matières se déposent. L'effluent passe ensuite dans une fosse septique, puis sur un lit bactérien. Les boues recueillies sont séchées.

Quant aux eaux résiduaires des *fromageries*, on leur ajoute 0,02 de chlore par litre et on les envoie à l'épandage.

Comme nous l'avons vu dans notre observation IV, les eaux résiduaires des *brasseries*, peuvent être funestes aux poissons. Elles sont colorées, odorantes, contenant des matières organiques (déchets de grains et houblon) et fermentescibles, et des bactéries ; elles deviennent très vite acides (acétique). Leur volume est important, de une à sept fois celui de la bière fabriquée. Aucune récupération ne semble intéressante, c'est pourquoi le délinquant de notre observation n'a pas hésité à rejeter ses sous-produits à la rivière. Pour précipiter les matières organiques, on pourrait décanter (12 heures) après addition d'argile fine. Usuellement, on décante grossièrement au puisard, on ajoute de la chaux et souvent du sulfate de fer : 500 gr. par m³, on décante pendant 12 heures, mais l'effluent étant encore putrescible, on l'envoie à l'épandage sur terrain cultivé : prairies, etc...

En ce qui concerne les eaux résiduaires des *féculeries*,

elles proviennent du lavage des tubercules, des plans à féculs et des citernes. Leur déversement causerait une très grande pollution : les poissons mourraient par suite de la présence d'hydrogène sulfuré. Trois procédés leur sont applicables :

1. *Epandage*. — Il faut compter faire de l'irrigation sur la base d'un hectare par 40 tonnes de tubercules, soit 200 m³ d'eau. L'irrigation n'est pas toujours possible.

2. *Epuration chimique* : s'effectue avec du sesquichlorure de fer et de chaux. L'eau purifiée se clarifie très vite. Les tourteaux sont employés comme engrais.

3. *Epuration biologique*. — On mélange une partie d'eau résiduaire avec trois parties d'eau de rivière et on fait passer directement sur des lits bactériens percolateurs.

Quant aux eaux résiduaires des *sucreries*, il en existe deux sortes : les eaux boueuses provenant du transport et du lavage des betteraves et les eaux de fabrication sortant des diffuseurs et des presses à pulpe. Les premières sont riches en terre et peuvent être décantées. On les tamise d'abord pour arrêter les débris, mais si on les conserve trop longtemps ou qu'on veuille s'en resservir, elles deviennent acides ; il faut les chauler.

Les eaux de fabrication contiennent des matières hydrocarbonées et du sucre ; elles ont une réaction neutre. Abandonnées à elles-mêmes, elles fermentent et on ne peut les traiter sur lits filtrants que si cette fermentation n'a pas eu lieu ; il faut donc employer la chaux. On les envoie ensuite à une fosse septique où elles donnent un

gros dégagement de méthane et d'anhydride carbonique, puis sur un lit bactérien (2 m³ de matériaux par m³ d'eau et par jour).

II. — *Eaux résiduaires* *contenant des matières chimiques*

Citons celles des *teintureries*, en général assez pauvres en matières organiques et dont le principal inconvénient est la présence de produits chimiques, quelquefois toxiques, mais pouvant donner des réactions et des dépôts, et celle de matières colorantes communiquant une coloration au cours d'eau. Elles sont très difficiles à traiter car elles contiennent des produits les plus dissemblables.

Les eaux résiduaires des *papeteries* ont un volume considérable : 2.000 fois la pâte fabriquée, en poids. Elles entraînent un volume de matières égal à celui fabriqué. Ces eaux, sans parler de la toxicité des produits chimiques (SO², par exemple, est toxique à partir de 0,5 à 5 mgr. par litre suivant la valeur du pH), absorbent l'oxygène des cours d'eau et y favorisent le développement des végétaux nuisibles. Mais les plus nocives ce sont les eaux bisulfitées des papeteries. Elles proviennent de la digestion des bûchettes de bois dans du bisulfite de chaux. Elles sont troubles, visqueuses, d'un brun rougeâtre, ont une odeur spéciale, et contiennent, à l'état colloïdal ou dissous, une forte proportion de matières organiques. Ces eaux diluées au dixième tuent les poissons en quelques heures. Avec une dilution au cinquième, les animaux souffrent et les plantes aquatiques dépérissent. Cependant les végétaux supportent sans dommage l'épandage prolongé. La nocivité est due à

l'acide sulfureux qui au contact de l'air se transforme en sulfate. Ces eaux ne peuvent être traitées par aucun procédé courant. La décantation ne donne pas de résultat. Par clarification physico-chimique, on précipite une partie des matières azotées et on ne diminue que légèrement la teneur en acide sulfureux. Le pouvoir antiseptique de cet acide empêche tout travail microbien, de sorte que la méthode bactérienne ne peut être envisagée. Le seul moyen pratique consiste au rejet en rivière après dilution convenable. Voici un cas rapporté par M. de Drouin de Bouville dans « la Pollution des rivières, sa police rationnelle », p. 4, à propos d'une cartonnerie : « l'eau précédemment limpide, devient sale, opaque ; le lit est encombré de déchets fibreux enrobés d'une vase gluante. La faune disparaît ; la flore subit une altération profonde caractérisée par la pollution des Cryptogames, notamment des Phycomycètes, revêtant un enduit mucilagineux les corps submergés, et cela sur près de 6 km. ».

Les eaux résiduaires des *tanneries* sont souvent très chargées : outre des déchets de toutes sortes et des matières organiques ; soude, CaCl^2 ; acide phénique (reverdisage) ; sulfures (couchage) (teneur toxique $\text{H}^2\text{S} \leq 1$ millionième) ; arsenic (teneur toxique $\leq 5/100.000$) ; extraits d'écorce épuisés (teneur toxique $\leq 1/10.000$), etc... Ces eaux sont très putrescibles et nauséabondes. Elles sont très nuisibles aux poissons. Leur traitement est un problème très difficile.

Enfin, pour les eaux résiduaires des *raffineries de pétrole*, on opère la séparation par différence de densité de l'eau et des pétroles, par passages successifs dans des bassins de décantation de grandes dimensions suivis de

filtres, en laissant les eaux presque au repos. Le pétrole et les huiles légères sont récupérés en surface par aspiration et les eaux évacuées par le fond.

III. — *Eaux résiduaires* *contenant des matières minérales*

Nous n'envisagerons que celles provenant des *hauts-fourneaux* dont l'étude a été faite par M. le Professeur P. Grelot, de la Faculté de Pharmacie de Nancy (Bull. des Soc. Pharmacol, 1924). L'auteur en a conclu que : ces eaux ne renferment aucune substance toxique, soluble ou insoluble, capable de nuire au poisson ; qu'elles ne peuvent être une entrave à l'utilisation de l'eau de rivière, après filtration méthodique, pour l'alimentation des villes ; que pour les faibles cours d'eau, en temps de sécheresse, l'eau se trouve plus chargée que de coutume, et certaines espèces de poissons recherchant l'eau claire, peuvent émigrer, soit en amont, soit dans les affluents. Ces eaux provoquent donc, plutôt par apport de boues, un trouble physique dans le cours d'eau pendant un certain trajet, mais n'ont pas de nuisance.

A l'occasion de deux procès, qui se sont terminés par un acquittement, le Pr Grelot a été amené à faire de nombreuses expériences sur les poissons. Nous n'en rapporterons que trois. Toutes trois ont été faites dans des cuves de verre de 0 m. 26 de long, 0 m. 21 de large et 0 m. 37 de profondeur. Contenance : 20 litres environ, Un courant d'air, amené par un tube de verre plongeant jusqu'au fond, entretenait une agitation constante. Les poissons étaient nourris avec des vers de terre découpés

en menus fragments et avec une pâte spéciale pour poissons d'aquarium.

« I. On peut supposer, *a priori*, que la claine (laitier grenillée) finement pulvérisée, avec ses bords dentelés, coupants, aigus, peut être préjudiciable aux poissons en se piquant sur les branchies, où elle resterait fixée, ceci sans préjudice de la porte ouverte aux parasites animaux et végétaux, par les lésions déterminées.

Dans cette expérience, je me suis placé dans les conditions extrêmes, c'est-à-dire en admettant :

1° que toute la matière en suspension est de la claine finement pulvérisée, alors qu'elle n'y entre que pour une infime partie ;

2° que la dilution n'est que de un tiers.

Dans une cuve, j'ai mis 1 gr. 08 de claine pulvérisée et 18 litres d'eau de Moselle, ce qui représente 6 litres d'eau résiduaire à 180 mgr. de matière en suspension par litre dilués dans 12 litres d'eau, soit un total de 18 litres. Ces conditions extrêmes ne seront jamais réalisées dans la rivière. Six chevennes, de 30 à 50 gr., ont séjourné sept jours entiers dans cette eau, constamment agitée, et sont restés vigoureux et pleins de vie. J'en conclus que les poissons n'ont rien à redouter de la claine, qui d'ailleurs, dans la rivière, reste au fond de l'eau si celle-ci n'est pas violemment agitée.

II. Un litre d'eau des bassins (à 175 mgr. 8 de matière en suspension par litre) + 9 litres d'eau de Moselle. Dilution 1/10. Trois gardons, de 60 à 125 gr., ont vécu 7 jours dans cette cuve, sans en souffrir aucunement.

III. 4 litres d'eau résiduaire + 12 litres d'eau de Mo-

selle. Dilution 1/4. Six chevennes, de 30 à 45 gr., y ont séjourné 7 jours entiers et paraissent, au bout de ce temps, aussi agiles et vigoureux qu'en y entrant. »

Il est à remarquer que dans toutes ces expériences, les poissons se sont trouvés dans des conditions infiniment plus défavorables que dans la rivière, à égalité de dilution, car ils étaient obligés de vivre dans un espace restreint, dans un volume d'eau très réduit, au milieu de leurs déjections, et avec une nourriture qui ne représente que très imparfaitement leur nourriture habituelle.

Donc les eaux résiduaires des hauts-fourneaux troublent l'eau sur un certain parcours, cela est indiscutable. Elles apportent des boues, que la première crue emportera au loin, mais en aucune façon, elles ne peuvent détruire le poisson.

L'exposé rapide de ces quelques méthodes de traitement des eaux résiduaires industrielles donne un aperçu de ce que l'on peut tenter de réaliser et laisse entrevoir, dans ce domaine, de nombreux progrès à accomplir.

Enfin, certaines eaux résiduaires ne sont pas épurables, soit parce que l'on n'a pas encore trouvé de traitement améliorant efficace, soit parce que l'on ne connaît pas encore leurs teneurs toxiques.

Même dans certains cas, on peut se demander si la meilleure solution ne consisterait pas à éviter systématiquement le rejet au cours d'eau, surtout lorsque l'épuration de l'effluent exigée est presque voisine de celle du cours d'eau lui-même, surtout dans des localités où l'alimentation en eau est difficile. On renvoie cette eau épurée, non plus au cours d'eau, mais dans un réservoir, d'où elle serait reprise pour le service des fabrications industrielles, pour les usages ménagers :

lavage, etc... et même moyennant une épuration au chlore simple et peu coûteuse, pour l'alimentation locale en eau potable ? On obtiendrait ainsi une économie hydrologique locale en circuit fermé. La compensation des pertes inévitables pourrait être faite par l'apport au réservoir de petits ruisseaux ou par un emprunt limité au cours d'eau.

CONCLUSIONS

I. — La réglementation des déversements industriels est régie par des lois, décrets et règlements de police très divers. Elle est complexe, insuffisamment cohérente, faisant intervenir de nombreux services publics. Elle semble avoir pour but essentiel la protection du poisson. Tant que la vie de celui-ci n'est pas atteinte, les sanctions ne sont que des amendes légères ; mais s'il y a destruction du poisson, les sanctions se trouvent brusquement exagérées, comportant de un à trois mois de prison.

Une proposition de loi relative aux mesures à prendre contre la pollution et à la conservation des eaux a été discutée et adoptée par le Sénat dans ses séances des 8 et 10 novembre 1932, et transmise à la Chambre des Députés le 2 juin 1936, qui ne l'a pas encore discutée.

II. — Les observations rapportées montrent la réalité de la pollution des cours d'eau et du sous-sol par les produits d'industrie.

III. — L'étude de ses effets sur la faune et la flore et sur les poissons de ces cours d'eau, sur la culture, sur les animaux et sur l'homme a été faite ensuite.

IV. — La mesure de la pollution d'un cours d'eau se fait par la détermination de sa consommation d'oxygène.

Cette consommation a lieu dans les cours d'eau, comme au laboratoire, suivant la règle de Phelps. La détermination, au laboratoire, de la consommation d'oxygène d'un échantillon d'eau pendant un temps donné, permet de calculer, en appliquant la règle de Phelps, la totalité de l'oxygène qui serait consommé pendant la première phase de l'oxydation biologique : c'est la demande première d'oxygène.

La détermination de cette demande première paraît être la méthode la plus rationnelle de mesure de la pollution des eaux. Elle est fondée, en effet, sur la reproduction, *in vitro*, du phénomène d'auto-épuration naturelle. Puisque l'oxydation biologique des matières organiques suit une même loi au laboratoire et dans les cours d'eau, il est légitime de prendre la demande première d'oxygène comme mesure quantitative de la pollution des cours d'eau.

Il convient, toutefois, de ne pas oublier qu'il existe une demande seconde due à la nitrification, et que cette demande seconde devra être prise en compte lorsqu'il s'agit d'effluents ayant subi une épuration partielle par un procédé biologique.

La surveillance d'un cours d'eau peut être assurée par la comparaison des demandes premières d'oxygène en deux points A et B du cours d'eau convenablement choisis et éloignés l'un de l'autre d'une distance correspondant à un temps d'écoulement de l'ordre de un à trois jours.

V. — Enfin, nous avons essayé d'envisager le traitement de quelques eaux résiduaires présentant plus ou moins de nuisance et dont les rejets ont été l'occasion

de plaintes vives et justifiées, car le rôle de l'hygiéniste est de guider les agglomérations vers l'état désirable en tenant compte de la réalité des faits et des moyens possibles et pratiques.

Vu : le Président de Thèse,
L. TANON.

Vu : le Doyen,
TIFFENEAU.

Vu et permis d'imprimer
Le Recteur de l'Académie de Paris :
G. ROUSSY.

BIBLIOGRAPHIE

BROUARDEL et MOSNY. — Traité d'Hygiène.

GIBERTON et LEYS. — Les méthodes anglo-américaines de contrôle de la pollution des cours d'eau. (*Annales d'Hygiène Publique, industrielle et sociale*, Nouvelle Série, N^{os} 10, oct., et 12, déc. 1936, p. 570 et 690, et in *Off. Internat. d'Hygiène publique*, N^o 4, avril 1937.)

GRELOT. — La pollution des rivières par les eaux résiduaires des hauts-fourneaux. (*Bull. des Sc. Pharmacolog.*, Paris, 1924, XXXI, 520 et 589.)

HEIM DE BALSAC. — Hygiène industrielle et hygiène publique ; Pollution des eaux par déversements industriels ; Nécessité de cartes hydrologiques de pollution. (*Bull. Acad. de Méd.*, Paris, 30 avril 1935.)

LEYS. — Recherches sur les eaux polluées (Thèse, Lille, 1936).

MONDON. — Assainissement général des villes et des petites collectivités (Tome III, traitement des eaux résiduaires industrielles ; Tome IV, législation relative à la protection des cours d'eau).

VIGNEROT. — La pollution des cours d'eau, du sol et du sous-sol par les eaux usées.

